

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA KONSTRUKCÍ

Zábavní park – dřevěné dětské hřiště
Amusement park – timber children playground

Student:

Aneta Soběhartová

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Kristýna Vavrušová, Ph.D.

Ostrava 2016

Zadání bakalářské práce

Student: **Aneta Soběhartová**
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3607R037 Konstrukce staveb
Téma: **Zábavní park - dřevěné dětské hřiště**
Amusement park - timber children playground
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Navrhněte a posuďte dřevěnou multifunkční sestavu dětského hřiště v uvedeném rozsahu:

- 1) Designový návrh sestavy dřevěného dětského hřiště.
- 2) Návrh dětského hřiště dle bezpečnostních požadavků.
- 3) Výpočet zatížení působícího na jednotlivé prvky sestavy.
- 4) Posudek únosnosti prvků dle platných normativních požadavků.
- 5) Výkresová dokumentace.

Seznam doporučené odborné literatury:

- 1) ČSN EN 1176-1: Zařízení dětských hřišť - část 1: Všeobecné bezpečnostní požadavky a zkušební metody
- 2) Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1 Obecná pravidla - Společná pravidla pro pozemní stavby
- 3) ČSN 73 1702: Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí - Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

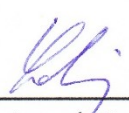
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

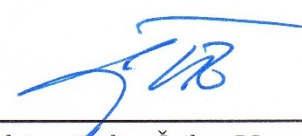
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Kristýna Vavrušová, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2015

Datum odevzdání: 02.05.2016




doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta:

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3)
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny na informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany uzavřu licenční smlouvu s oprávnění užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

Bibliografická citace

SOBĚHARTOVÁ, Aneta. *Zábavní park - dřevěné dětské hřiště*. Ostrava, 2016. 155 s., 13 příl. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Kristýna Vavrušová, Ph.D..

Anotace

Obsahem bakalářské práce je návrh části zábavního parku, která je tvořena dřevěnými herními sestavami. Hlavním konstrukčním materiálem je rostlé dřevo. Cílem práce je designový a statický návrh včetně posouzení jednotlivých dřevěných prvků sestav, které jsou provedeny dle platných předpisů ČSN EN. Součástí práce je rovněž návrh vybraných spojů daných sestav a výkresová dokumentace.

Klíčová slova

grafický design, dřevěné dětské hřiště, zatížení, statický návrh a posouzení, herní sestavy, houpačka, altán, návrh spojů, bezpečnostní požadavky

Anotation

Bachelor thesis deals with the concept of an amusement park. This park is built from wooden playsets. The main construction material is the wood. The aim of thesis is a design and a statistical concept inclusive evaluation of particular wooden elements constructed in accordance with valid regulation ČSN EN. The part of the thesis is also a concept of connections of defined sets and technical documentation.

Key words

graphic design, wooden children playground, statistical concept and evaluation, playsets, swing, summer-house, concept of connections, safety requirements

Obsah

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ	- 8 -
1 ÚVOD	- 12 -
2 HISTORIE DĚTSKÝCH HŘIŠŤ	- 14 -
3 DŘEVO	- 16 -
3.1 FYZIKÁLNÍ A MECHANICKÉ VLASTNOSTI DŘEVA.....	- 17 -
4 POUŽITÉ MATERIÁLY	- 21 -
4.1 HLAVNÍ KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY	- 21 -
4.2 PROTIPÁDOVÝ POVRCH DĚTSKÉHO HŘIŠTĚ	- 21 -
4.3 STŘEŠNÍ KRYTINA - ASFALTOVÝ ŠINDEL	- 23 -
4.4 LANA.....	- 24 -
4.4.1 Lana na šplhací síť.....	- 24 -
4.4.2 Síť ochranná u altánu.....	- 24 -
4.4.3 Lana jako zábradlí	- 25 -
5 DESIGNOVÝ NÁVRH SESTAVY.....	- 26 -
6 POŽADAVKY NA BEZPEČNOST	- 27 -
7 VSTUPNÍ PROMĚNNÉ PŘI STATICKÉM NÁVRHU	- 28 -
7.1 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY DŘEVA	- 28 -
7.2 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY OCELI.....	- 29 -
8 ZATÍŽENÍ	- 30 -
8.1 ZATÍŽENÍ DĚTMI	- 30 -
8.2 ZATÍŽENÍ SNĚHEM	- 31 -
8.3 ZATÍŽENÍ VĚTREM	- 32 -
9 STATICKÝ NÁVRH A POSOUZENÍ JEDNOTLIVÝCH SESTAV	- 34 -
9.1 SPOJOVACÍ LÁVKA.....	- 34 -
9.1.1 Prkna	- 34 -
9.1.2 Ocelové nosníky.....	- 36 -
9.2 PYRAMIDA.....	- 39 -
9.2.1 Fošny	- 40 -
9.2.2 Trámy	- 43 -
9.2.3 Boční trámek	- 45 -
9.2.4 Středový sloup	- 48 -
9.2.5 Šikmé sloupy.....	- 52 -
9.2.6 Příčle žebříku	- 56 -
9.2.7 Stojka žebříku	- 59 -
9.3 SCHŮDKY	- 62 -
9.3.1 Schodišťové stupně.....	- 63 -
9.3.2 Schodnice	- 65 -
9.4 DOMEČEK.....	- 69 -
9.4.1 Sloupky	- 70 -

9.4.2	<i>Fošny</i>	- 72 -
9.4.3	<i>Trámy</i>	- 75 -
9.4.4	<i>Sloupy</i>	- 78 -
9.5	LANOVÝ MOST	- 81 -
9.5.1	<i>Zábradelní trámy</i>	- 81 -
9.6	KASKÁDA	- 84 -
9.6.1	<i>Kaskáda 1 – prkna</i>	- 85 -
9.6.2	<i>Kaskáda 1 – trámy</i>	- 88 -
9.6.3	<i>Kaskáda 1 – trám menší</i>	- 91 -
9.6.4	<i>Kaskáda 1 – sloupy</i>	- 94 -
9.6.5	<i>Kaskáda 2 – prkna</i>	- 97 -
9.6.6	<i>Kaskáda 2 – trámy</i>	- 99 -
9.6.7	<i>Sloup</i>	- 102 -
9.7	LOĎ	- 105 -
9.7.1	<i>Prkna</i>	- 105 -
9.7.2	<i>Trámy</i>	- 108 -
9.7.3	<i>Sloupy</i>	- 111 -
9.8	ALTÁN	- 114 -
9.8.1	<i>Krov – krokve</i>	- 115 -
9.8.2	<i>Krov - sloupek</i>	- 122 -
9.8.3	<i>Krov - vzpěry</i>	- 123 -
9.8.4	<i>Fošny</i>	- 125 -
9.8.5	<i>Trámy</i>	- 127 -
9.8.6	<i>Sloupy</i>	- 131 -
9.9	DVOUMÍSTNÁ HOUPAČKA	- 134 -
9.9.1	<i>Bezpečnostní požadavky</i>	- 134 -
9.9.2	<i>Výpočet zatížení</i>	- 135 -
9.9.3	<i>Horní nosník</i>	- 137 -
9.9.4	<i>Stojky</i>	- 141 -
10	VÝPOČET VYBRANÝCH SPOJŮ	- 143 -
10.1	PYRAMIDA: TRÁMY – SLOUP	- 143 -
10.2	ALTÁN: FOŠNY – TRÁM	- 145 -
10.3	KASKÁDA1: TRÁM - TRÁM	- 146 -
10.4	KASKÁDA1: TRÁMY – SLOUP	- 149 -
11	ZÁVĚR	- 151 -
	PODĚKOVÁNÍ	- 152 -
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	- 153 -
	SEZNAM PŘÍLOH	- 155 -

Seznam použitého značení

Písmena velké latinské abecedy:

A	plocha průřezu [m^2]
A_{ef}	efektivní plocha průřezu [m^2]
A_{osl}	oslabená plocha průřezu [m^2]
A_{pr}	plocha hracího prvku promítnutá do horizontální roviny [m^2]
A_v	smyková plocha [m^2]
C_{dyn}	dynamický součinitel pohybu dětí [-]
C_e	součinitel expozice [-]
C_t	tepelný součinitel [-]
$E_{0,05}$	hodnota 5% kvantilu modulu pružnosti [MPa]
E_{mean}	průměrná hodnota modulu pružnosti [MPa]
$F_{ax,Rd}$	návrhová únosnost spojovacího prostředku na vytažení [kN]
$F_{ax,Rk}$	charakteristická únosnost spojovacího prostředku na vytažení [kN]
F_h	horizontální zatížení houpací sestavy [kN]
$F_{tot,v}$	celkové vertikální zatížení od dětí [kN]
F_v	vertikální zatížení houpací sestavy [kN]
$F_{v,Ed}$	návrhová posouvající síla ve spoji [kN]
$F_{v,Rd}$	návrhová únosnost jednoho spojovacího prostředku [kN]
$F_{v,Rk}$	charakteristická únosnost jednoho spojovacího prostředku [kN]
G_{mean}	průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku [MPa]
G_n	celková hmotnost n dětí [kg]
G_s	hmotnost výkyvné sestavy [kg]
I_{tor}	torzní moment setrvačnosti [m^4]
$I_{v(z)}$	intenzita turbulence [-]
$I_{y,z}$	moment setrvačnosti k dané ose [m^4]
L_{pr}	délka prvku promítnuta do horizontální roviny [m]
M_{Ed}	návrhový ohybový moment [kNm]
$M_{pl,Rd}$	plastický moment únosnosti [kNm]
$M_{y,Rk}$	charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku [N/mm]

N_{Ed}	návrhová normálová síla [kN]
V	reálný objem hracího prvku [m ³]
V_{Ed}	návrhová posouvající síla [kN]
$V_{pl,Rd}$	plastická únosnost ve smyku [kN]
$W_{y,osl}$	oslabený modul průřezu k ose y [m ³]
$W_{y,pl}$	plastický modul průřezu k ose y [m ³]
$W_{y,z}$	modul průřezu k dané ose [m ³]

Písmena malé latinské abecedy:

b	šířka průřezu [m]
b_{ef}	efektivní šířka průřezu [m]
$c_0(z)$	součinitel ortografie [-]
c_{dir}	součinitel směru větru [-]
c_{pe}	součinitel vnějších tlaků [-]
c_{pi}	součinitel vnitřních tlaků [-]
$c_r(z)$	součinitel drsnosti terénu [-]
c_{season}	součinitel ročního období [-]
d	průměr kruhového průřezu [m]
e	excentricita [m]
$f_{ax,Rk}$	pevnost na vytažení spoje [MPa]
$f_{c,0,d}$	návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny [MPa]
$f_{c,0,k}$	charakteristická pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny [MPa]
$f_{c,90,d}$	návrhová pevnost v tlaku kolmo na vlákna [MPa]
$f_{c,90,k}$	charakteristická pevnost v tlaku kolmo na vlákna [MPa]
$f_{h,k}$	charakteristická pevnost v otláčení [MPa]
$f_{m,d}$	návrhová pevnost dřeva v ohybu [MPa]
$f_{m,k}$	charakteristická pevnost dřeva v ohybu [MPa]
$f_{t,0,d}$	návrhová pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny [MPa]
$f_{t,0,k}$	charakteristická pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny [MPa]
$f_{t,90,d}$	návrhová pevnost v tahu kolmo na vlákna [MPa]
$f_{t,90,k}$	charakteristická pevnost v tahu kolmo na vlákna [MPa]

f_u	mez pevnosti oceli [MPa]
$f_{v,d}$	návrhová pevnost ve smyku [MPa]
$f_{v,k}$	charakteristická pevnost ve smyku [MPa]
f_y	mez kluzu oceli [MPa]
g	tíhové zrychlení [m/s^2]
g_k	charakteristická hodnota stálého zatížení [kN/m]
h	výška průřezu [m]
h_2	délka závěsu [m]
h_3	výška sedadla [m]
$i_{y,z}$	poloměr setrvačnosti průřezu k dané ose [m]
k_c	součinitel vzpěrnosti dřevěných konstrukcí [-]
k_{cr}	součinitel uvažující vliv trhlin [-]
k_{crit}	součinitel používaný pro příčnou a torzní stabilitu [-]
k_I	součinitel turbulence [-]
k_m	součinitel zohledňující redistribuci ohybových napětí v průřezu [-]
k_r	součinitel terénu [-]
l	délka [m]
l_{cr}	kritická délka [m]
l_{ef}	účinná délka nosníku závislá na podmínkách uložení a uspořádání zatížení [m]
m	střední hmotnost dítěte ve stanovené věkové skupině [kg]
n	počet dětí [ks]
q_k	charakteristická hodnota proměnného zatížení [kN/m]
$q_p(z)$	charakteristický maximální dynamický tlak [kN/m^2]
r	poloměr kruhového průřezu [m]
s_k	zatížení sněhem [kN/m^2]
t_f	tloušťka pásnice [m]
t_w	tloušťka stojiny [m]
v_b	základní rychlost větru [m/s]
$v_{b,0}$	referenční rychlost větru [m/s]
$v_{m(z)}$	střední rychlost větru [m/s]

w_k	charakteristická hodnota tlaku větru [kN/m ²]
z_0	parametr drsnosti terénu [m]
z_{min}	minimální výška [m]

Písmena řecké abecedy:

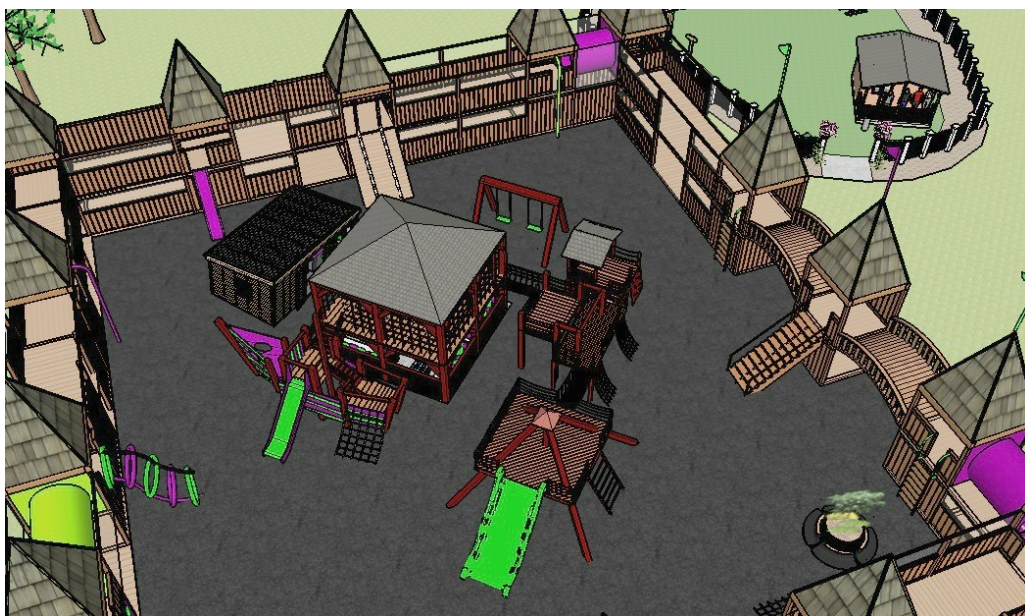
β	poměr mezi pevnostmi v otláčení prvku [-]
γ_M	součinitel materiálů [-]
γ_{M0}	dílčí součinitel vlastnosti materiálu [-]
λ_{rel}	relativní štíhlostní poměr [-]
$\lambda_{rel,m}$	poměrná štíhlost v ohybu [-]
μ	tvarový součinitel [-]
π	Ludolfovo číslo [-]
ρ	hustota vzduchu [kg/m ³]
ρ_k	charakteristická hustota dřeva [kg/m ³]
$\sigma_{m,crit}$	kritické ohybové napětí [MPa]
$\sigma_{m,d}$	návrhové napětí v ohybu [MPa]
$\tau_{v,d}$	návrhové napětí ve smyku [MPa]

1 Úvod

Cílem je navrhnout funkční a bezpečný zábavní park, který bude atraktivní a zároveň zábavný hlavně pro děti. Park je tvořen dětským hřištěm, které je obklopeno dřevěným hradem. Před vstupem do parku se nachází parkoviště a místo, kde se dají zakoupit vstupenky do zábavního parku, občerstvení, toalety a také posezení sloužící k relaxaci a odpočinku.



Obrázek 1 – Celý zábavní park



Obrázek 2 – Centrum zábavního parku



Obrázek 3 – Vstup zábavního parku

Cílem této bakalářské práce je navrhnout pouze dětské hřiště.



Obrázek 4 – Dětské hřiště

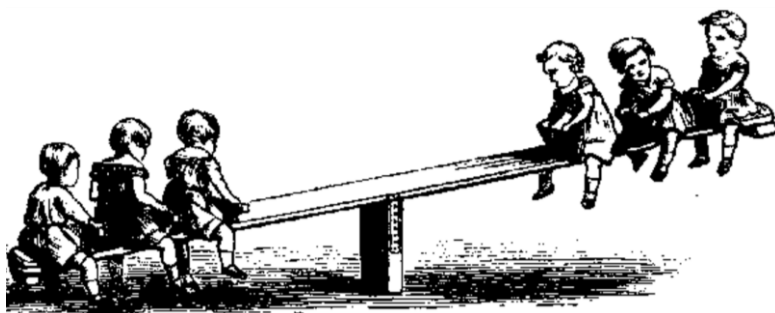
2 Historie dětských hřišť

První hřiště bylo postaveno v Manchesteru v Anglii, ale nápad hřiště vznikl v Německu. Hřiště byla prezentována jako místo, kde učít děti, jak si spolu bezpečně hrát. První načrtnutý koncept hřiště byl vytvořen v roce 1848 panem Henrym Barnardem a představoval velkou, šedou plochu s učiteli, kteří se dívají, jak si děti hrají s dřevěnými špalky, odstrkávadly a dvěma otáčivými houpačkami. Nicméně, to bylo dalších 39 let předtím, než bylo v Americe postaveno první hřiště, a mezitím děti potřebovaly bezpečné, vyhrazené místo pro hraní her. Hodně dětí, hlavně v městských částech, si hrály na ulicích nebo na obrubnicích, a bylo zde velké nebezpečí, že je srazí auto.

První americké hřiště bylo otevřeno v roce 1887 v parku Golden Gate v San Franciscu. Byly zde houpačky, skluzavky a dokonce kolotoč. Ale místo popularity byl tento model považován za podivný. Vládou financované hřiště nebylo postaveno do roku 1903, po několika soukromých organizacích byla postavena hřiště, aby poskytovala zázemí pro děti ve slumech. V roce 1906 byla vytvořena Asociace hřišť Ameriky, účelem bylo šíření myšlenky hřiště pro americké publikum. Následující rok prezident Theodore Roosevelt vyzval k výstavbě hřišť za účelem chránit děti před hraním nebezpečných, nekontrolovaných her v horkých ulicích měst.



Obrázek 5 – Jedna z prvních sestav dětského hřiště [13]



Obrázek 6 – Vahadlová houpačka z 19. století [13]



Obrázek 7 – Balanční lanový most [13]

Po uvedení hřišť začala regulérní válka týkající se bezpečnosti. Lezecké konstrukce byly zakázány na hřištích v New Yorku v roce 1912, protože kritici věřili, že jsou pro děti až moc nebezpečné. Hraní na ulicích bylo v roce 1914 kriminálním činem, protože se věřilo, že hraní na ulici vede k lenivosti. Než získaly vládou financovaná hřiště popularitu, ulice byly jediným bezpečným místem pro hru, a města napříč zemí začínala zavírat ulice, aby si na nich děti mohly hrát. Rok 1931 zaznamenal nárůst dobrodružných hřišť, výtvořem architekta C. Th. Sorensena. Dobrodružná hřiště byla hřiště vytvořená na prázdných pozemcích, které si děti vyprosily na hraní. Tato hřiště obsahovala pneumatiky a jiné krámy, s několika strukturami, které by měly dovolit dětem postavit a vyrobit jejich vlastní unikátní plochu pro hraní. Dobře udržovaná hřiště by mohla být jedinečným prostorem pro volný čas, ale hodně se jich stalo skladištěm pro nepotřebný materiál.

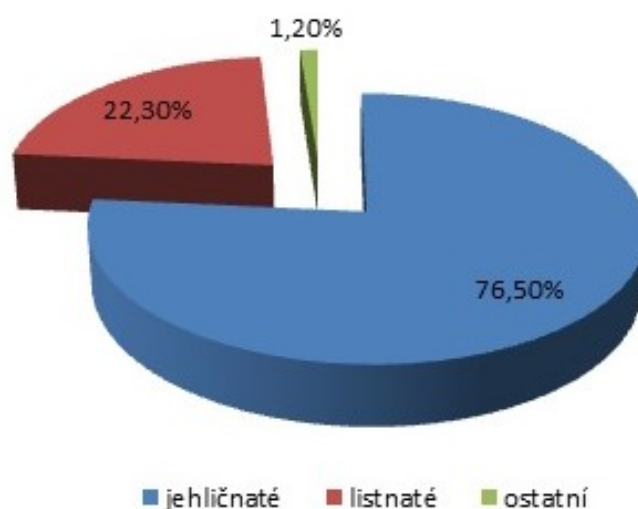
Hřiště zahájila masovou výrobu v 60. letech, příkladem jsou identické plochy na hraní u restaurací McDonald's a 80. léta zažila záplavu soudních procesů proti společnostem, které je vyráběly poté, co se na nich děti během hry zranily. Pro zabránění dalším zraněním začaly úřady trvat na dodržování řádných bezpečnostních předpisů. Po přelomu tisíciletí začala města experimentovat s "pop-up playgrounds", kdy města zavřela jednu nebo více ulic, aby sloužila jako prostor pro hry a atletiku. Existuje dokonce několik hřišť, které jsou určeny pro 70 leté a starší seniory. V dnešní době jsou hřiště nejlepším a nejrozšířenějším zdrojem zábavy.

3 Dřevo

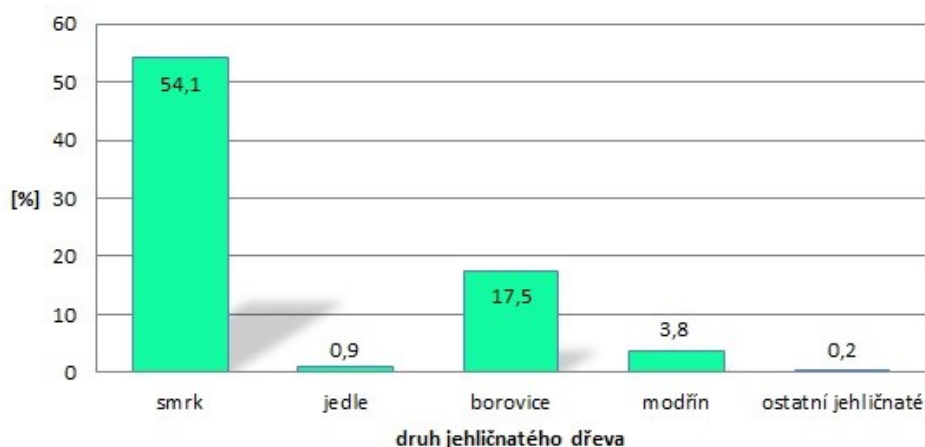
Dřevo je jeden z nejstarších přírodních obnovitelných materiálů, který byl a stále je využíván jako stavební materiál ke stavbě nejen obydlí.

Dřevo je organický, nehomogenní, anizotropní materiál. Chemické složení dřeva je u jednotlivých druhů suchých dřevin prakticky stejné a jen málo kolísá okolo těchto hodnot: uhlík 49,5%, kyslík 44,2%, vodík 6,1% a dusík 0,2%. Dřevo se skládá hlavně z celulózy 50%, hemicelulózy 22% a ligninu 22%, které tvoří buněčné stěny. Zbylých 6% jsou látky, vytvářející vnitřek buněk a patří k nim pryskyřice, tuky, vosky, třísloviny, barviva, alkaloidy a látky minerální.

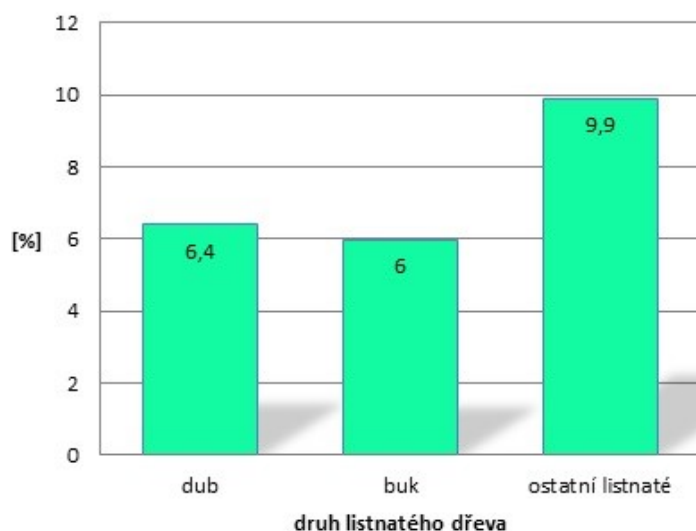
Česká republika patří mezi státy s poměrně vysokým procentem zalesněných území. Dřeviny rozdělujeme na jehličnaté a listnaté. Dále je můžeme dělit na měkké a tvrdé. Mezi měkkými a tvrdými dřevinami však není zcela přesná hranice. Druhovú skladbu lesů České republiky bez tzv. holiny (plochy lesů dočasně zbaveného lesního porostu v důsledku těžby dřeva apod.) byla v roce 2000 viz. Obrázky 8-10.



Obrázek 8 – Zastoupení jehličnatých a listnatých dřevin v ČR



Obrázek 9 – Procentuální zastoupení jednotlivých druhů jehličnatého dřeva



Obrázek 10 – Procentuální zastoupení jednotlivých druhů listnatého dřeva

Na dřevěné konstrukce je možné použít dřevo z listnatých i jehličnatých dřevin s vhodnými fyzikálními a mechanickými vlastnostmi. Ve většině případů se však používá dřevo jehličnatých dřevin, převážně smrk.

3.1 Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva

Dřevo má v různých směrech různé vlastnosti. Výrazně se od sebe liší vlastnosti sledované rovnoběžně a kolmo k vláknům. Ve směru kolmo k vláknům se potom ještě od sebe liší vlastnosti v radiálním a v tangenciálním směru. Nejlepší parametry pevnosti a tuhosti a

zároveň nejmenší deformace od účinku teploty, sesychání či bobtnání má dřevo ve směru rovnoběžně s vlákny.

Barva

Čím je dřevo tmavší, tím obsahuje větší množství pryskyřic a tříslovin, které činí dřevo odolnější vůči hnilobě. Obecně platí, že čím je dřevo tmavší, tím je trvanlivější.

Hustota dřevní hmoty

Hustota dřevní hmoty je stejná pro všechny dřeviny, činí přibližně 1500 kg/m^3 . Tato hodnota odpovídá hustotám hlavních složek dřeva, celulózy a ligninu.

Objemová hmotnost

Objemová hmotnost závisí na druhu dřeva a na jeho vlhkosti, s rostoucí vlhkostí vzrůstá. Objemová hmotnost dřeva v suchém stavu se u běžných dřevin pohybuje od $400\text{--}700 \text{ kg/m}^3$.

Vlhkost dřeva

Vlhkost dřeva je dána množstvím vody, které je ve dřevu obsaženo, tj. poměrem hmotnosti vody k hmotnosti sušiny dřevní hmoty. Voda se ve dřevu vyskytuje v podobě vody hydrokopicky vázané (obsažené ve stěnách buněk) a vody volné (obsaženo mimo stěny buněk). Do vlhkosti přibližně 30 % se voda nachází ve dřevu jako hygrokopicky vázaná.

Vlhkost 30 % se nazývá bodem nasycení vláken a odpovídá stavu, při němž jsou všechny buněčné stěny nasyceny vodou. Hygrokopickým vlhnutím a vysycháním se zvětšuje a zmenšuje tloušťka buněčných stěn a tím dochází k bobtnání a sesychání dřevěných prvků.

Tepelné, elektrické a akustické vlastnosti

Tepelná vodivost dřeva je malá a zvětšuje se s objemovou hmotností. Dřevo je proto vhodným tepelně izolačním materiálem. Teplotní roztažnost dřeva je také malá, a proto u dřevěných konstrukcí nemusíme počítat s účinky od teplotních změn a provádět dilatační spáry.

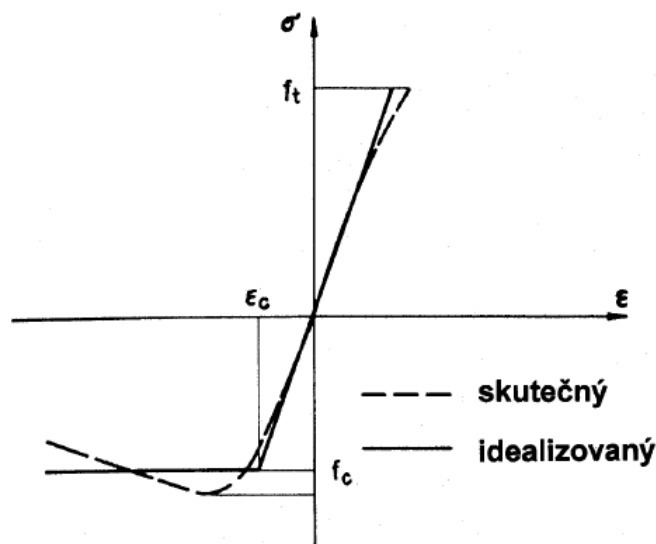
Dřevo v suchém stavu je dobrý izolant, proto dřevo v suchém stavu prakticky nevede proud, ale se vzrůstající vlhkostí se elektrická vodivost prudce zvětšuje

Dřevo má vynikající akustický útlum a ozvučnost, proto je také nenahraditelné při výrobě hudebních nástrojů. Pro svoji schopnost odrážet a pohlcovat zvuk se používá při akustických úpravách.

Trvanlivost dřeva

Zpravidla platí, že dřeviny s tmnějším jádrem jsou trvanlivější než dřeviny se světlým nebo nevýrazným jádrem. Trvanlivost dřeva nejvíce závisí na prostředí, ve kterém je dřevo použito a na druhu dřeva. Trvanlivost dřeva nejvíce zkracuje kolísavá vlhkost, zvláště tehdy, je-li dřevo v částečném styku s půdou.

Mechanické vlastnosti



Obrázek 11 – Pracovní diagram pro namáhání v tahu/tlaku rovnoběžně s vlákny [6]

Mechanickými vlastnostmi dřeva rozumíme vlastnosti dřeva z hlediska pevnosti a pružnosti. Mechanické vlastnosti závisí na charakteru zatížení (statické, dynamické, rázové) a na trvání zatížení (stálé, dlouhodobé, střednědobé, krátkodobé, okamžikové). Mechanické vlastnosti dřeva se většinou zjišťují statickými zkouškami na zkušebních tělesech podle příslušných norem. Mechanické vlastnosti ovlivňuje řada činitelů: konstrukční rozměr, objemová vlhkost, vady dřeva, rychlost zatěžování a doba trvání zatížení.

VÝHODY DŘEVA:

- výhodné mechanické vlastnosti
- nízká hmotnost
- nízká energetická náročnost
- snadná opracovatelnost
- velká pevnost při malé objemové hmotnosti
- odolnost proti dynamickému namáhání
- výborné tepelně-izolační vlastnosti

- za sucha dobrý izolant
- snadná montáž
- estetické hledisko

NEVÝHODY DŘEVA:

- Deformace dřeva vzhledem k objemové nestálosti při změnách vlhkosti (změna tvaru, vznik trhlin,..)
- Anizotropie dřeva
- Kazy dřeva (špatný růst, suky,..)
- Možnost napadení dřeva houbou nebo hmyzem
- Atmosférická koroze
- Nasákavost dřeva
- Hořlavost

4 Použité materiály

4.1 Hlavní konstrukční materiály

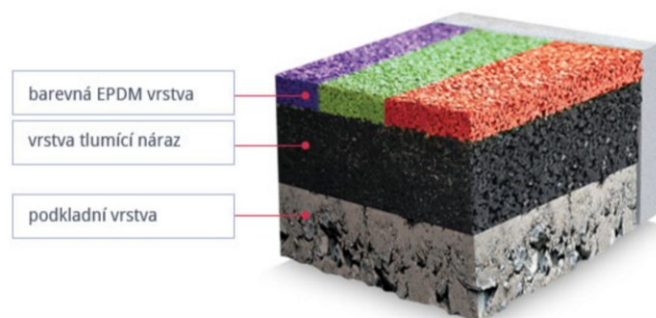
Pro konstrukci nosných prvků dětského hřiště bylo zvoleno rostlé smrkové dřevo třídy C24. Na ochranu dřeva byla použita tlaková impregnace. Materiál pro tlakovou impregnaci je Wolmanit CX 10, který je zdravotně nezávadný pro uživatele (vhodný pro dětská hřiště), tak i šetrný k životnímu prostředí a dlouhodobě odolný proti vyluhování. Tato impregnace zajišťuje rovnoměrné ošetření dřeva do hloubky a zabraňuje růstu dřevokazných hub a napadení dřevokazným hmyzem. Touto impregnací jehličnaté dřevo nemění barvu a na tuto impregnaci lze použít barevný nátěr. Vzhledem k tomu, že bude konstrukce trvale v kontaktu s půdou, případně vystavena silnému působení vlhkosti, je použito 4 kg směsi na 1 m³ dřeva, aby byla zajištěna nejvyšší možná ochrana.

Pro spoje dřevěných prvků byla použita ocel třídy S235.

4.2 Protipádový povrch dětského hřiště

Pod celým zařízením dětského hřiště s výškou volného pádu větší než 600 mm nebo pod zařízeními vyvolávajícími nucený pohyb těla uživatele jako jsou houpačky, skluzavky, kolotoče a další, musí být dopadová plocha pokryta povrchem tlumící dopad. Jelikož tráva či udusaný povrch se může jako dopadový povrch použít jen do výšky pádu maximálně 1 m je nutno použít jiný povrch tlumící dopad. Mezi nejpoužívanější prvky, které tlumí dopad patří litý polyuretan, umělá tráva a syntetické dlaždice.

Na povrch kolem hracích prvků, kde může dojít k pádu je tedy použit litý polyuretan neboli Superelastic EPDM. EPDM je umělý bezpečnostní povrch, který tlumí pády a zajišťuje ochranu dětí při hře na hřištích. Je tvořen ze tří vrstev: horní vrstva je EPDM, střední vrstva tlumící náraz a poslední vrstva je podkladní. Střední vrstva je z recyklovaného SRB granulátu a polyuretanového pojiva, na kterou je nanесena horní vrstva z celobarevného EPDM granulátu (1-3 mm) a polyuretanového pojiva.

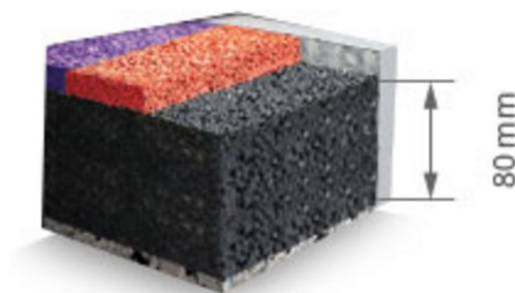


Obrázek 12 – Ukázka skladby protipádového povrchu [10]

Mezi hlavní výhody EPDM patří:

- je připravován přímo na stavbě dětského hřiště
- lze aplikovat na různé podklady, bez nutnosti větších úprav
- barevná variabilita
- maximálně odolný a bezúdržbový
- zamezuje prorůstání trávy
- lze realizovat v různě silných vrstvách dle požadované pádové výšky

Jelikož je u sestavy největší výška pádu kolem 2,5 m, proto je použit Superelastic EPDM 80 v šedé barvě, kde je 80 mm tlustá vrstva, která ochrání před pádem z výšky do 2,7 m.



Obrázek 13 – Vybraný protipádový povrch [10]

Zbytek hřiště, kde nehrozí pád z velké výšky, je použita umělá tráva v zelené barvě. Ta je tvořena čtyřmi vrstvami. Od spodní vrstvy, kde je geotextilie, na ní tlumící podložka (tlumí náraz při zakopnutí, ..), zásypová hmota a na ní trávník.

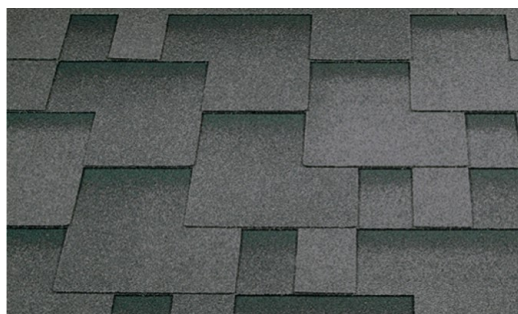


Obrázek 14 – Umělá tráva – ilustrační foto [10]

4.3 Střešní krytina - asfaltový šindel

V současné době jsou asfaltové střešní šindele nejrozšířenější asfaltovou krytinou pro šikmé a strmé střechy. Svým charakterem, parametry a variabilitou použití vytvářejí spolehlivé hydroizolace i v klimaticky exponovaných oblastech, a to i jak na nových střeších, tak i na rekonstruovaných.

Pro zastřešení sestav byl použit asfaltový střešní šindel KatepalŠindel Super Rocky v barvě grafitové šedi. Váha střešního systému je 9 kg/m^2 . Minimální sklon střechy by měl být 12° .



Obrázek 15 – Asfaltový střešní šindel [11]

Mezi hlavní výhody patří

- vhodný i do extrémních podmínek
- dlouhá životnost
- rozumná cena
- pevnost v ohybu
- celoplošné lepení
- pružnost i v chladu

- odolnost proti natržení
- vynikající přilnavost
- lehká krytina
- jednoduchá a rychlá pokládka

4.4 Lana

Lana jsou použita na šplhací sítě, které jsou u sestav Kaskáda a Lod'. Také budou použita u altánu horního patra a jako zábradlí u některých sestav.

4.4.1 Lana na šplhací síť

Pro šplhací sítě byly vybrány sítě nylonové. Tyto sítě se vyrábí z extra silně strojově utažených třípramenných lan v bílé barvě. Sítě jsou určeny do extrémních podmínek, jsou velmi tvrdé, ale k rukám šetrné.



Obrázek 16 – Ukázka šplhací sítě – ilustrační foto [8]

4.4.2 Síť ochranná u altánu

Na ochrannou síť u altánu jsou vybrány ochranné sítě bezuzlové polypropylenové, které jsou nenasákavé, vodě odolné a barevně stálé. Jsou dodávány v různých barevných variacích. Byla vybrána barva bílá, tloušťka 5 mm a velikost ok 10 x 10 cm.



Obrázek 17 – Ukázka ochranné sítě -ilustrační foto [8]

Síť má po obvodu obšitý zesílený lem, který může být přichycen různými skobami, čehož je využito u altánu. Při požáru by se přistavil žebřík, který je uschován v bufetu, síť by se jednoduše oddělala ze skob, a odhrnula a byla tak zajištěna rychlá evakuace dětí.

Požadavkem u sítě je také vysoké pnutí, proto je polypropylenové lanko opatřeno ocelovým jádrem. Nejprve se po obvodu síťovaného prostoru pomocí napínáku vypne ocelové lanko s textilním opletem, poté se teprve přichytává síťovina.

4.4.3 Lana jako zábradlí

Na zábradlí je použito lano z přírodního konopí. Průměr horního madla je 30 mm, dolní madla jsou z průměru 20 mm, které jsou zakončeny provazovou koulí s háčkem. Pro bezpečnost dětí je použit i ochranný výplet s oky 5 x 5 cm.



Obrázek 18 – Příklad lanového zábradlí – ilustrační foto [8]

5 Designový návrh sestavy

Návrh sestavy byl proveden v programu SketchUp 2016, který umožňuje tvorbu 3D modelu a tím celou vizualizaci hřiště.

Celé hřiště je tvořeno pěti sestavami, které jsou pojmenovány jako Pyramida, Kaskáda, Domeček a Lod'. Jsou propojeny s centrálním altánem, ve kterém se nachází sestava Mašinka, která již není součástí výpočtu.

Centrem hřiště je dvoupatrový altán čtvercového půdorysu s valbovou střechou. Spodní patro altánu slouží k posezení a horní patro slouží ke hraní, kde je sestava Mašinka, kterou tvoří skluzavky, lávky a tunely. Z horního patra altánu je možno přejít po schůdkách na horní plošinu sestavy Lod', ze které je možno se dolů dostat skluzavkou, případně sestoupit na spodní plošinu po schůdkách a z té dolů po lanové síti. Z horního patra altánu se dá také přejít na horní plošinu sestavy Kaskáda po lanovém mostě a sestoupit na spodní plošinu, kde jsou zavěšeny dvě lanové sítě, kterými se lze dostat dolů ze sestavy. Dále se dá vydat doleva nebo doprava. Pokud je zvolen směr doleva, po schůdkách se sestoupí na sestavu Domeček. Domeček má k sestupu dřevěnou stěnu s úchyty a pod sestavou se nachází pískoviště. Pokud je ze sestavy Kaskáda zvolen směr doprava, kde za spojovacím mostem se nachází sestava Pyramida. Pyramida má skluzavku a žebřík.

Dalším prvkem sestavy dětského hřiště je dvoumístná houpačka, která je umístěna vedle sestavy Domeček.

Součástí hřiště je také bufet, který již není součástí výpočtu.



Obrázek 19 – Vizualizace dětského hřiště

6 Požadavky na bezpečnost

Následující kapitola je zpracována dle literatury [1].

Mezi nejdůležitější požadavky, které se kladou na dětská hřiště patří:

- Výběr materiálu by měl být v souladu s příslušnými evropskými normami.
- Nesmí být použity materiály, o nichž je známo, že způsobují vznícení povrchu.
- Konstrukce má být navržena tak, aby se na ni neshromažďovala voda.
- Z konstrukce by neměly vyčnívat hřebíky, šrouby a jiné komponenty s hroty nebo ostrými hranami.
- Madla musí být více než 600 mm, ale méně než 850 mm nad polohou nohou.
- Prvky jakékoliv opory navržené k sevření musí být minimálně 16 mm a maximálně 45 mm.
- Prvky navržené k uchopení by neměly mít větší průřez než 60 mm.
- Jednotlivé prvky musí být zhotoveny z kvalitního dřeva, které není náchylné k tvorbě třísek.
- Konstrukce musí být sestavena tak, aby nedošlo k zachycení hlavy a krku. Zkoušení se dělá zkušebními sondami C nebo E, které nesmí projít skrze otvory.
- Všechny části konstrukce by měly být sestaveny tak, aby nedošlo k zachycení oblečení a vlasů – díry, výstupky, otáčející se části.
- Sestava musí být sestavena tak, aby nedošlo k zachycení celého těla – tunely, zavěšené části s pevným závěsem.
- Mezery mezi nášlapnými prvky nesmí být větší než 30 mm, aby nedošlo k zachycení chodidla nebo nohy na plochách určených pro běhání a chození.
- Žádné části konstrukce nesmí představovat nebezpečí zachycení prstů. Jedná se především o díry, kde se uživatel může zachytit při hře.
- Výška volného pádu nesmí být větší než 3m.
- Drátěná lana musí být bez pnutí a vyrobena z galvanizovaného nebo korozivzdorného drátu.
- Každý pramen šplhací sítě, který je zhotoven z drátěného lana s ochranným obalem, musí být ovinut syntetickou nebo přírodní přízí.
- Součásti náchylné k opotřebení se musí kontrolovat a musí být navrženy tak, aby mohly být snadno vyměněny

7 Vstupní proměnné při statickém návrhu

7.1 Materiálové charakteristiky dřeva

Na výrobu dětského hřiště bylo použito smrkové rostlé dřevo třídy C24. Materiálové charakteristiky, které byly použity pro statický výpočet jsou následující:

Pevnostní charakteristiky:

$$f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,k} = 14 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,k} = 0,5 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 2,5 \text{ MPa}$$

Pevnostní charakteristiky (přepočteny na hodnoty návrhové):

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 24}{1,3} = 12,923 \text{ MPa} \quad (1)$$

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 14}{1,3} = 7,538 \text{ MPa} \quad (2)$$

$$f_{t,90,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{t,90,k}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 0,5}{1,3} = 0,269 \text{ MPa} \quad (3)$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 21}{1,3} = 11,308 \text{ MPa} \quad (4)$$

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 2,5}{1,3} = 1,346 \text{ MPa} \quad (5)$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 2,5}{1,3} = 1,346 \text{ MPa} \quad (6)$$

Moduly pružnosti:

$$E_{0,mean} = 11\,000 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 7\,400 \text{ MPa}$$

$$E_{90,mean} = 370 \text{ MPa}$$

$$G_{mean} = 690 \text{ MPa}$$

Objemové hmotnosti:

$$\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{mean} = 420 \text{ kg/m}^3$$

Součinitelé:

$$\gamma_M = 1,3 \quad \text{pro rostlé dřevo}$$

$$k_{mod} = 0,7 \quad \text{pro rostlé dřevo, krátkodobé zatížení a třídu provozu 3}$$

7.2 Materiálové charakteristiky oceli

Spojovací součásti a doplňky jsou z oceli S235. Materiálové charakteristiky, které byly použity pro statický výpočet jsou následující:

Pevnostní charakteristiky:

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

Součinitelé:

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

8 Zatížení

Následující kapitola je zpracována dle literatury [1].

Konstrukce dětského hřiště může být zatížena trvalým zatížením a zatížením proměnným.

Mezi trvalá zatížení patří vlastní hmotnost konstrukce a montážních celků, předpětí a hmotnost vody, pokud jsou na konstrukci zásobníky vody.

Mezi proměnné zatížení patří zatížení uživatelem, sněhem, větrem, teplotou a zvláštní zatížení. U tohoto venkovního hřiště se počítá pouze se zatížením od dětí, jelikož při nepřízní počasí a v zimě bude areál uzavřen. Proto nebude vznikat kombinace s jiným proměnným zatížením.

8.1 Zatížení dětmi

Zatížení uživateli je dáno dle následujícího vztahu:

$$F_{tot,v} = g \cdot C_{dyn} \cdot G_n \quad (7)$$

Kde g tíhové zrychlení [m/s^2], počítáno s 10 m/s^2 . Celková hmotnost dětí G_n se stanoví dle vztahu:

$$G_n = n \cdot m + 1,64 \cdot \sigma \cdot \sqrt{n} \quad (8)$$

Jelikož se jedná o hřiště pro děti do 14 let, proto je m střední hmotnost dítěte uvažována 53,8 kg. Směrodatná odchylka σ pro tuto věkovou kategorii je 9,6 kg a n je počet dětí.

Počet dětí n se stanoví dle vztahů

$$n = \frac{L_{pr}}{0,6} \quad (9)$$

$$n = \frac{A_{pr}}{0,36} \quad (10)$$

$$n = \frac{V}{0,43} \quad (11)$$

L_{pr} délka prvku promítnutá do horizontální roviny [m];

A_{pr} plocha prvku promítnutá do horizontální roviny [m^2];

V reálný objem hracího prvku [m^3]

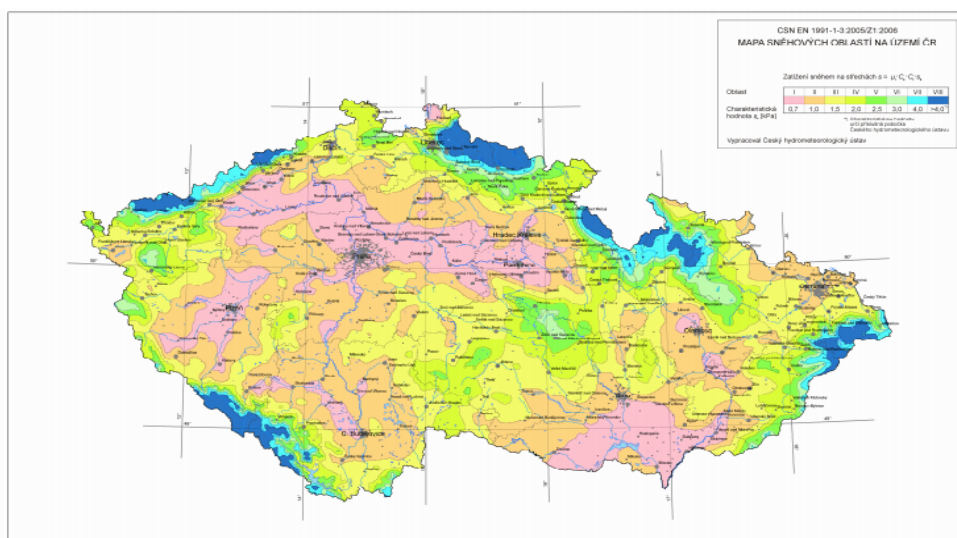
Dynamický součinitel C_{dyn} se vypočítá ze vztahu:

$$C_{dyn} = 1 + \frac{1}{n} \quad (12)$$

8.2 Zatížení sněhem

Pro výpočet zatížení sněhem je uvažováno, že konstrukce bude postavena v Ostravě. Ostrava je II. sněhová oblast, proto je charakteristická hodnota zatížení sněhem $s_k = 1 \text{ kN/m}^2$ určená z mapy sněhových oblastí.

Oblast	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
s_k [kN/m^2]	0,7	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	> 4,0



Obrázek 20 – Mapa sněhových oblastí [14]

Zatížení sněhem se pak stanoví:

$$s_{k1} = s_k \cdot \mu \cdot C_e \cdot C_t \quad (13)$$

Kde C_e součinitel expozice i tepelný součinitel C_t je uvažovaný jako 1. Tvarový součinitel je závislý na sklonu střechy 0-30° je roven 0,8.

8.3 Zatížení větrem

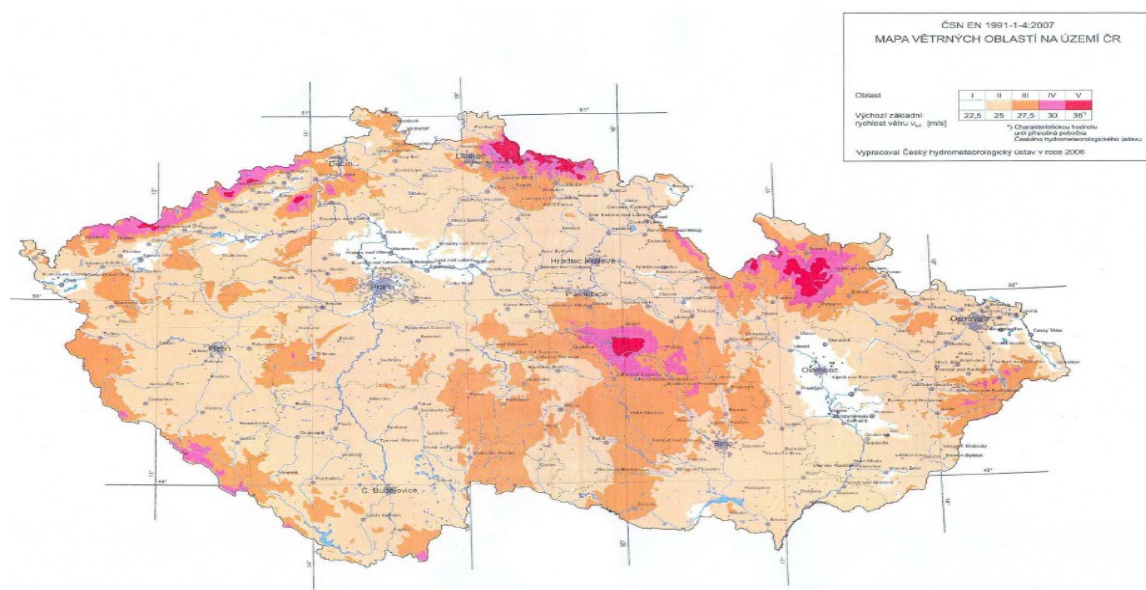
Zatížení větrem není uvažováno u sestav, jelikož plochy, do kterých by se mohl opřít vítr jsou malé, ale u altánu je zatížení větrem započítáno.

Základní rychlost větru:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (14)$$

Kde součinitel větru c_{dir} a součinitel ročního období c_{season} se pro běžné případy uvažují

1. Hodnota $v_{b,0}$ se určí z mapy větrných oblastí, která je pro Ostravu 25 m/s.



Obrázek 21 – Mapa větrných oblastí [15]

Referenční výšky:

$$z_e = z_i = h \quad (15)$$

Součinitel drsnosti:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_0} \quad (16)$$

Hodnota z_0 je 0,3 pro kategorii terénu III a součinitel terénu se stanoví dle vztahu:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} \quad (17)$$

Charakteristická střední rychlost větru:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b \quad (18)$$

Kde $c_0(z)$ součinitel ortografie je roven 1.

Maximální charakteristický tlak:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2 \quad (19)$$

Kde $I_v(z)$ se stanoví dle vztahu a ρ hustota vzduchu se většinou uvažuje 1,25.

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln \frac{z}{z_0}} \quad (20)$$

Výsledný tlak větru na střešní konstrukci:

$$w_k = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) \quad (21)$$

Úhel sklonu α	Oblast pro směr větru $\theta = 0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

Obrázek 22 – Hodnoty c_{pe} pro příčný vítr [15]

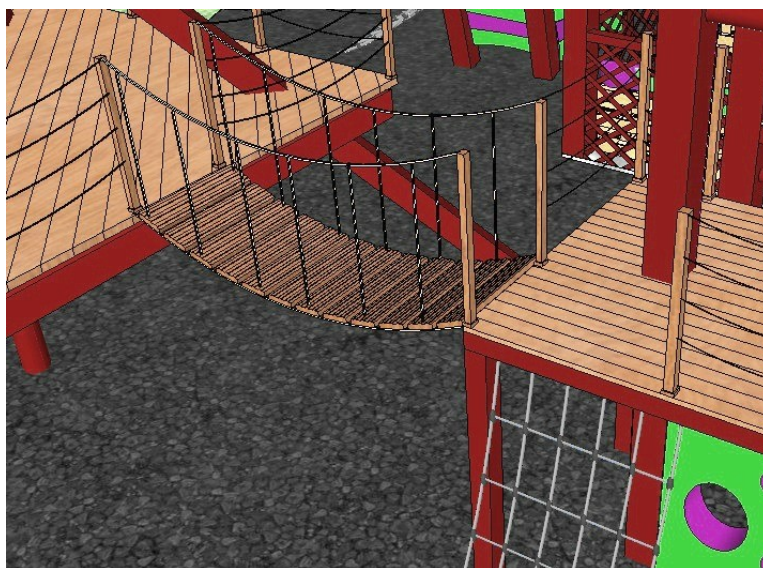
Úhel sklonu α	Oblast pro směr větru $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

Obrázek 23 – Hodnoty c_{pe} pro podélný vítr [15]

9 Statický návrh a posouzení jednotlivých sestav

Jednotlivé návrhy byly provedeny v programu Scia Engineer. Vlastní tíha jednotlivých prvků je již zahrnuta v programu. Zatížení od dětí je do programu zadáváno jako zatížení krátkodobé a typ zatížení jako shromáždění. Vítr i sníh jsou také brány jako zatížení krátkodobé.

9.1 Spojovací lávka



Obrázek 24 – Spojovací lávka

Lávka spojuje sestavu Pyramida se sestavou Kaskáda. Skládá se ze dvou ocelových nosníků, na kterých jsou připevněna prkna.

9.1.1 Prkna

Prkna jsou zatížena dětmi na mostku a vlastní tíhou latí.

Zatížení od dětí

Maximální počet dětí dle kapitoly 8.1:

$$n = \frac{A_{pr}}{0,36} = \frac{0,9 \cdot 2}{0,36} = 5 \text{ dětí}$$

Výpočet váhy dětí a celkové síly dle kapitoly 8.1:

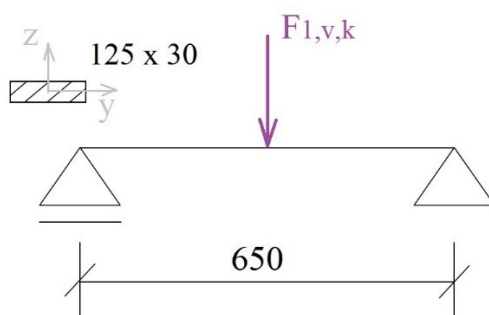
$$G_n = 5 \cdot 53,8 + 1,64 \cdot 9,6 \cdot \sqrt{5} = 304,419 \text{ kg}$$

$$C_{dyn} = 1 + \frac{1}{5} = 1,2$$

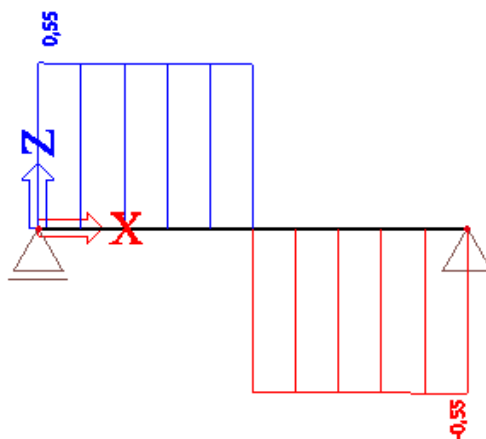
$$F_{tot,v,k} = 10 \cdot 403,419 \cdot 1,2 = 3,653 \text{ kN}$$

Zatížení prkna jedním dítětem.

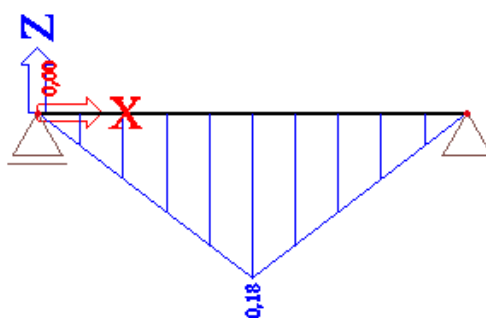
$$F_{1,v,k} = \frac{3,653}{5} = 0,731 \text{ kN}$$



Obrázek 25 – Statické schéma prken



Obrázek 26 – Průběh posouvajících sil



Obrázek 27 – Průběh ohybových momentů

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 0,55 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 0,18 \text{ kNm}$$

Posouzení průřezu na ohyb

Maximální normálové napětí za ohybu:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,125 \cdot 0,03^2 = 1,875 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \quad (22)$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{0,18 \cdot 10^3}{1,875 \cdot 10^{-5}} = 9,6 \text{ MPa} \quad (23)$$

Posouzení na ohyb:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad (24)$$

$$0,743 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Nosníky jsou krátké a závisí na štíhlosti, kde v tomto případě převládá šířka prvků nebude tak docházet ke klopení.

Posouzení průřezu na smyk

Maximální smykové napětí:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,125 = 0,084 \text{ m} \quad (25)$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,084 \cdot 0,03 = 0,0025 \text{ m}^2 \quad (26)$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 0,55 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,0025} = 0,328 \text{ MPa} \quad (27)$$

Posouzení na smyk:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1 \quad (28)$$

$$0,244 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.1.2 Ocelové nosníky

Ocelové nosníky podpírají prkna a jsou také zatíženy hmotností dětí. Vlastní tíha ocelového nosníku je také započítána.

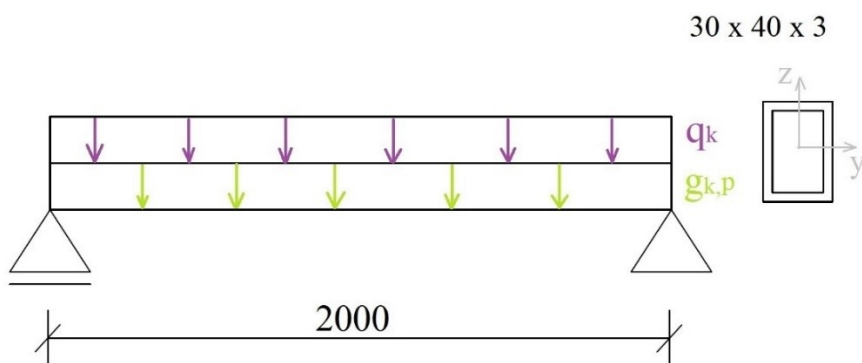
Zatížení od dětí

Z předešlého výpočtu zatížení od dětí vyšlo $F_{tot,v,k} = 3,653 \text{ kN}$. Je uvažováno, že tato síla se přenese na oba nosníky a každý nosník přenese tedy polovinu zatížení od dětí. Ta je následně přepočtena na spojité zatížení.

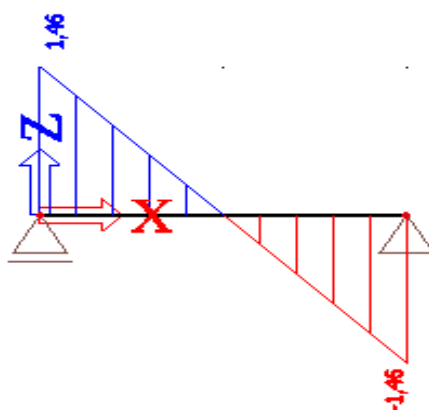
$$q_k = \frac{1}{2} \cdot \frac{3,653}{2} = 0,913 \text{ kN/m}$$

Zatížení od prken

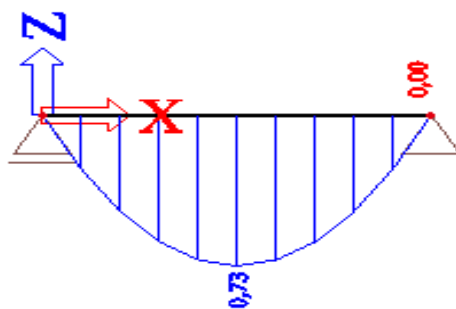
$$g_{k,p} = 3,5 \cdot 0,45 \cdot 0,03 = 0,047 \text{ kN/m}$$



Obrázek 28 – Statické schéma ocelových nosníků



Obrázek 29 – Průběh posouvajících sil



Obrázek 30 – Průběh ohybových momentů

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 1,46 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 0,73 \text{ kNm}$$

Zatřívání průřezu

Byla zvolena ocelová obdélníková trubka výšky 40 mm, šířky 30 mm a tloušťky 3mm

$$\frac{h}{t_w} = \frac{40}{3} = 13,333 \Rightarrow 1 \text{ třída} \quad (29)$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{30}{3} = 10 \Rightarrow 1 \text{ třída} \quad (30)$$

Posouzení průřezu na ohyb

Průřezový modul:

$$W_{y,pl} = 4,61 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \quad (31)$$

Plastický ohybový moment:

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,61 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 1,083 \text{ kNm} \quad (32)$$

$$M_{pl,Rd} \geq M_{Ed} \quad (33)$$

$$1,083 \text{ kNm} \geq 0,73 \text{ kNm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu na smyk

Smyková plocha:

$$A_v = 2 \cdot ((0,04 - 2 \cdot 0,003) \cdot 0,003) = 0,000204 \text{ m}^2 \quad (34)$$

Posouvající síla:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{0,000204 \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 27,678 \text{ kN} \quad (35)$$

$$V_{pl,Rd} \geq V_{Ed} \quad (36)$$

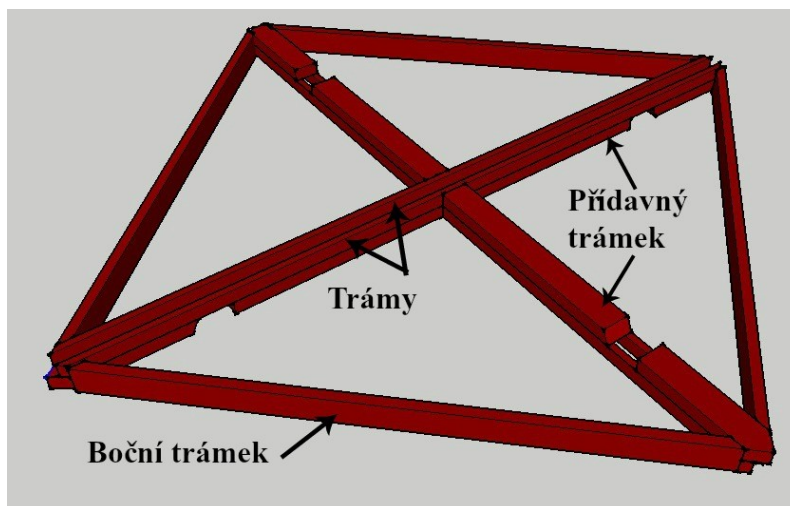
$$27,678 \text{ kN} \geq 1,46 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.2 Pyramida



Obrázek 31 – Sestava Pyramida

Sestava Pyramida se skládá z pěti nosných sloupů. Středový sloup je kruhového průřezu a zbylé čtyři jsou průřezu obdélníkového. Do nich je zasazena plošina čtvercového půdorysu tvořena dvěma dvojicemi trámů, které spojují tři sloupy a do středového sloupu jsou zapuštěny. Celá plošina je ztužena bočními trámkami. Pro zajištění stejné roviny trámů je přidán přidavný trámek. Plošina má na jedné straně napojenou plastovou skluzavku, z druhé strany žebřík a ze třetí strany je lávka, která spojuje sestavu Pyramida se sestavou Kaskáda.



Obrázek 32 – Skelet plošiny sestavy Pyramida

9.2.1 Fošny

Zatížení fošen je uvažováno dětmi a vlastní tíhou fošen.

Zatížení od dětí

Maximální počet dětí dle kapitoly 8.1:

$$n = \frac{L_{pr}}{0,6} = \frac{5,657}{0,6} = 9,42 \Rightarrow 10 \text{ dětí}$$

Výpočet váhy dětí a celkové síly dle kapitoly 8.1:

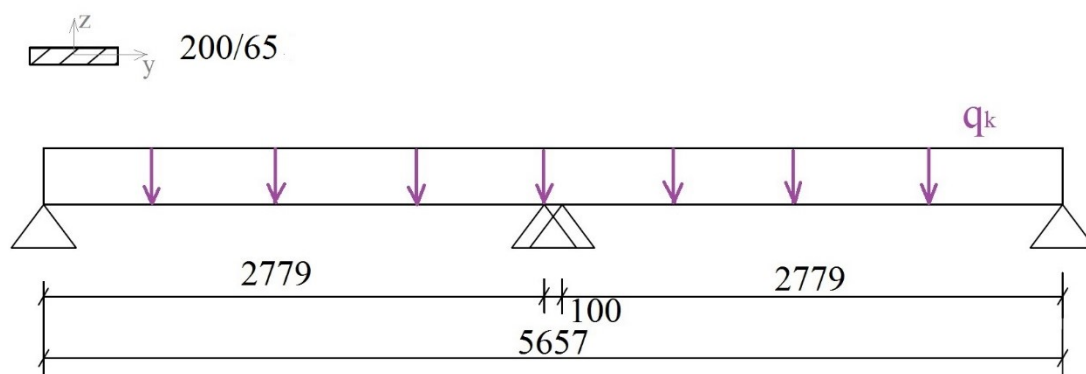
$$G_n = 10 \cdot 53,8 + 1,64 \cdot 9,6 \cdot \sqrt{10} = 587,787 \text{ kg}$$

$$C_{dyn} = 1 + \frac{1}{10} = 1,1$$

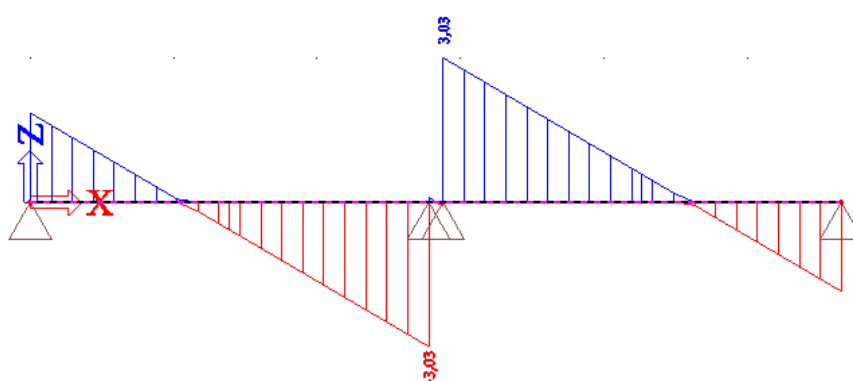
$$F_{tot,v,k} = 10 \cdot 587,787 \cdot 1,1 = 6,466 \text{ kN}$$

Přepočet síly na spojitě zatížení.

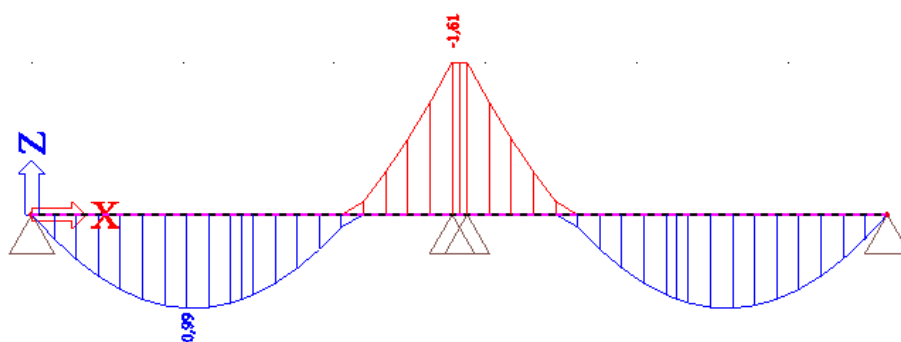
$$q_k = \frac{6,466}{5,657} = 1,143 \text{ kN/m}$$



Obrázek 33 – Statické schéma fošen



Obrázek 34 – Průběh posouvajících sil



Obrázek 35 – Průběh ohybových momentů

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 3,03 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = -1,61 \text{ kNm}$$

Posouzení průřezu na smyk

Maximální smykové napětí:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,2 = 0,134 \text{ m}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,134 \cdot 0,065 = 0,0087 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 3,03 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,0087} = 0,522 \text{ MPa}$$

Posouzení na smyk:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$0,388 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu na klopení

Kritické napětí pro celistvý obdelníkový průřez z jehličnatého dřeva:

$$l_{ef} = 0,9 \cdot 2,779 = 2,501 \text{ m} \quad \text{pro spojitý nosník se spojitým zatížením}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,2^2}{0,065 \cdot 2,501} \cdot 7400 \cdot 10^3 = 1420,175 \text{ MPa} \quad (37)$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{1420,175}} = 0,13 \quad (38)$$

Maximální normálové napětí za ohybu:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,2 \cdot 0,065^2 = 0,00014 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{|M_{Ed}|}{W_y} = \frac{1,61 \cdot 10^3}{0,00014} = 11,432 \text{ MPa}$$

Posouzení na klopení:

$$k_{crit} = 1 \quad \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1 \quad (39)$$

$$0,885 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.2.2 Trámy

Dvojice trámů je zatížena dětmi, jelikož jsou trámy stejné délky jako fošny je zatížení dětí stejné hodnoty $q_k = 1,143 \text{ kN/m}$. Další zatížení, které na trámy působí je vlastní tíha fošen, které jsou na trámech položeny a také přídatným trámkem, který je tam z toho důvodu, aby bylo dosaženo stejné roviny. Je také uvažováno s vlastní tíhou trámů.

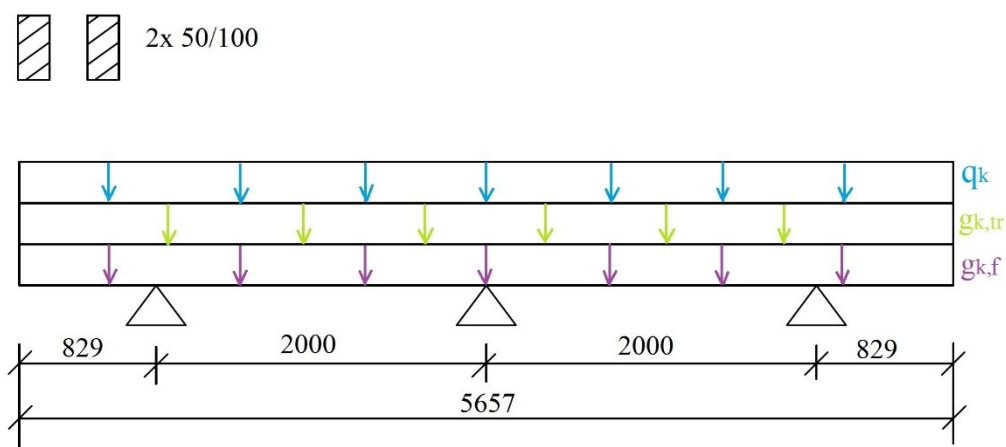
Zatížení od fošen

$$g_{k,f} = 3,5 \cdot 2,829 \cdot 0,065 = 0,644 \text{ kN/m}$$

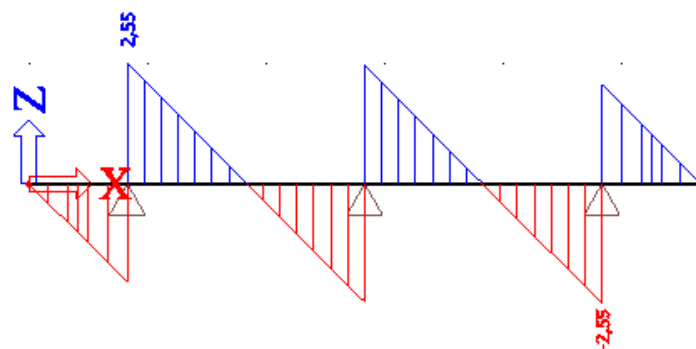
Zatížení od přídatného trámku

Přídatný trámek má průřez 200/100. Vlastní tíha je spočítána obdobně jako u předešlých latí.

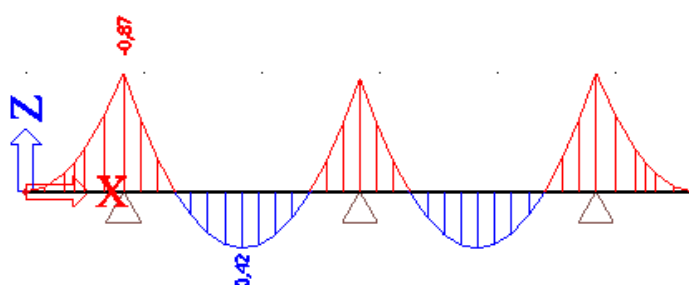
$$g_{k,tr} = 3,5 \cdot 0,1 \cdot 0,2 = 0,07 \text{ kN/m}$$



Obrázek 36 – Statické schéma trámů



Obrázek 37 – Průběh posouvajících sil



Obrázek 38 – Průběh ohybových momentů

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 2,55 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = -0,87 \text{ kNm}$$

Posouzení průřezu na smyk

Maximální smykové napětí:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,1 = 0,067 \text{ m}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,067 \cdot 0,1 = 0,0067 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 2,55 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,0067} = 0,571 \text{ MPa}$$

Posouzení na smyk:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$0,424 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení průřezu na klopení

Kritické napětí pro celistvý obdélníkový průřez z jehličnatého dřeva:

$$l_{ef} = 0,9 \cdot 2 = 1,8 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,1^2}{0,1 \cdot 1,8} \cdot 7400 \cdot 10^3 = 320,667 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{320,667}} = 0,274$$

Maximální normálové napětí za ohybu:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,1 \cdot 0,1^2 = 0,00017 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{|M_{Ed}|}{W_y} = \frac{0,87 \cdot 10^3}{0,00017} = 5,22 \text{ MPa}$$

Posouzení na klopení:

$$k_{crit} = 1 \quad \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,404 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.2.3 Boční trámek

Na boční trámek působí zatížení od dětí, od fošen, od spojovací lávky a dětí na lávce.

Zatížení od dětí na trámku

Maximální počet dětí dle kapitoly 8.1:

$$n = \frac{L_{pr}}{0,6} = \frac{4}{0,6} = 6,667 \Rightarrow 7 \text{ dětí}$$

Výpočet váhy dětí a celkové síly dle kapitoly 8.1:

$$G_n = 7 \cdot 53,8 + 1,64 \cdot 9,6 \cdot \sqrt{7} = 418,255 \text{ kg}$$

$$C_{dyn} = 1 + \frac{1}{7} = 1,143$$

$$F_{tot,v,k} = 10 \cdot 418,255 \cdot 1,143 = 4,78 \text{ kN}$$

Přepočet síly na spojitě zatížení.

$$q = \frac{4,78}{4} = 1,195 \text{ kN/m}$$

Zatížení od fošen

$$g_{k,f} = 3,5 \cdot 1 \cdot 0,065 = 0,228 \text{ kN/m}$$

Zatížení od dětí na lávce

Celkové zatížení lávky dětmi je $F_{tot,v,k}=3,653 \text{ kN}$ a proto je uvažováno, že polovina tíhy se přenesse na sestavu Pyramida a druhá polovina na sestavu Kaskáda a ta se rozloží do dvou sil. Proto je zatížení od dětí na lávce uvažováno takto:

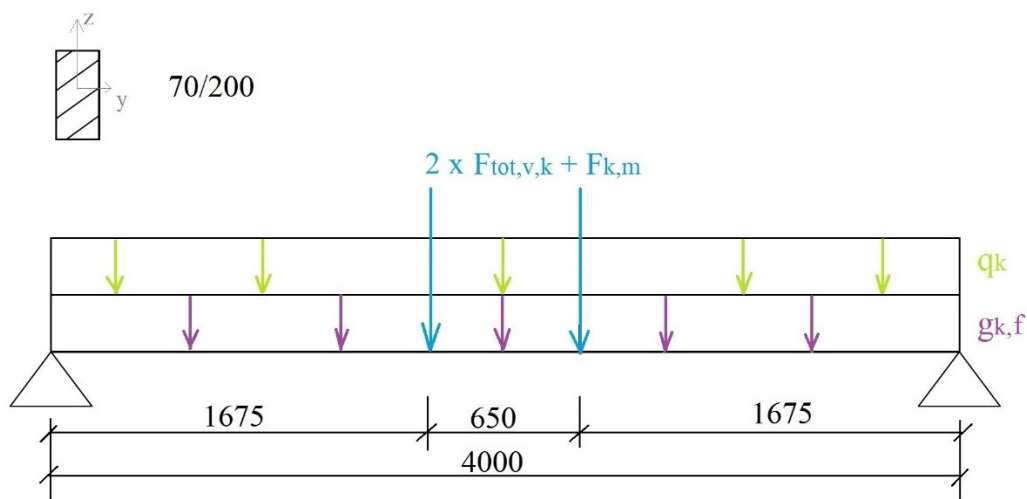
$$F_{tot,v,k} = \frac{3,653}{4} = 0,913 \text{ kN}$$

Zatížení od lávky

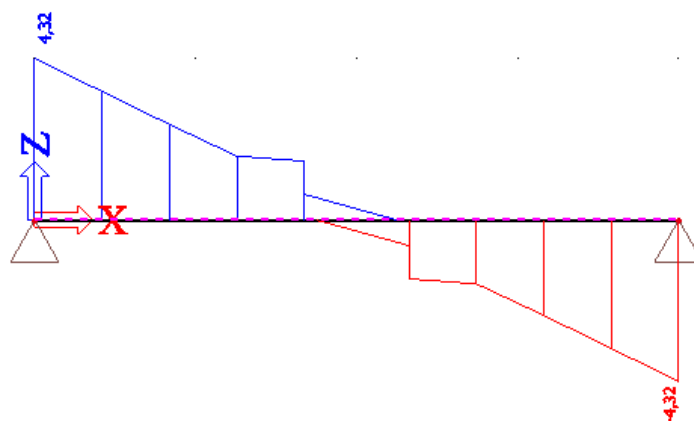
Je uvažováno, že vlastní tíha celé lávky je přibližně 20 kg/m^2 . Lávka má půdorysné rozměry $2 \times 0,9 \text{ m}$. Opět je uvažováno, že polovina tíhy se přenesse na sestavu Pyramida a polovina na sestavu Kaskáda.

$$F_{k,m} = \frac{0,2 \cdot 2 \cdot 0,9}{4} = 0,09 \text{ kN}$$

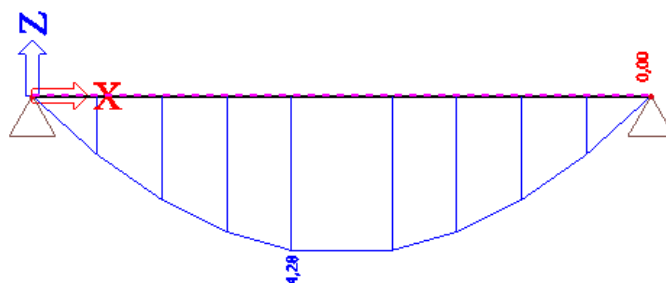
Tyto hodnoty jsou opět zadány do programu a je uvažováno i s vlastní tíhou trámku.



Obrázek 39 – Statické schéma bočního trámku



Obrázek 40 – Průběh posouvajících sil



Obrázek 41 – Průběh ohybových momentů

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 4,32 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 4,28 \text{ kNm}$$

Posouzení průřezu na smyk

Maximální smykové napětí:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,07 = 0,047 \text{ m}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,047 \cdot 0,2 = 0,0094 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 4,32 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,0094} = 0,691 \text{ MPa}$$

Posouzení na smyk:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$0,513 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení průřezu na klopení

Kritické napětí pro celistvý obdelníkový průřez z jehličnatého dřeva:

$$l_{ef} = 0,9 \cdot 4 = 3,6 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,07^2}{0,2 \cdot 3,6} \cdot 7400 \cdot 10^3 = 39,282 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{39,282}} = 0,782$$

Maximální normálové napětí za ohybu:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,07 \cdot 0,2^2 = 0,00047 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{4,28 \cdot 10^3}{0,00047} = 9,171 \text{ MPa}$$

Posouzení na klopení:

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} = 1,56 - 0,75 \cdot 0,782 = 0,974 \quad \text{pro } 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,729 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.2.4 Středový sloup

Zatížení sněhem

Byl proveden výpočet zatížení sněhem i když bude areál v zimním období uzavřen. Nemůže tak nastat kombinace zatížení sněh a děti, ale spíš pro případ, aby zatížení sněhem nebylo větší a konstrukce odolala zatížení. Pro výpočet zatížení sněhem je uvažováno, že konstrukce bude postavena v Ostravě. Ostrava je II. sněhová oblast, proto je charakteristická hodnota zatížení sněhem $s_k = 1 \text{ kN/m}^2$.

Výpočet dle kapitoly 8.2:

$$s_{k1} = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení jednoho sloupu je tedy:

$$s_{k1} = \frac{0,8 \cdot 4 \cdot 4}{5} = 2,56 \text{ kN}$$

Zatížení od dětí

Výpočet dětí na celé plošině a výpočet hmotnosti dětí, která je převedena na sílu a rozpočítána do jednotlivých sloupů.

Výpočet dle kapitoly 8.1:

$$n = \frac{A_{pr}}{0,36} = \frac{4 \cdot 4}{0,36} = 44,4 \Rightarrow 45 \text{ dětí}$$

$$G_n = n \cdot 53,8 + 1,64 \cdot \sigma \cdot \sqrt{n} = 45 \cdot 53,8 + 1,64 \cdot 9,6 \cdot \sqrt{45} = 2526,614 \text{ kg}$$

$$C_{dyn} = 1 + \frac{1}{n} = 1 + \frac{1}{45} = 1,022$$

$$F_{tot,v,k} = g \cdot G_n \cdot C_{dyn} = 10 \cdot 2526,614 \cdot 1,022 = 25,822 \text{ kN}$$

Zatížení jednoho sloupu:

$$F_{1,v,k} = \frac{25,822}{5} = 5,164 \text{ kN}$$

Z výpočtů je zřejmé, že zatížení od dětí je přibližně dvakrát větší než zatížení sněhem. Proto je počítáno s tíhou dětí a vlastní tíhou sloupu. Zatížení od dětí je do programu zadáno jako zatížení krátkodobé a typ zatížení jako shromáždění.

Zatížení od trámů a přídatného trámu

$$F_{k,tr} = \frac{2 \cdot (3,5 \cdot 0,1 \cdot 0,1 \cdot 5,657) + 2 \cdot (3,5 \cdot 0,2 \cdot 0,1 \cdot 5,657)}{5} = 0,237 \text{ kN}$$

Zatížení od fošen

$$F_{k,f} = \frac{3,5 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 0,065}{5} = 0,728 \text{ kN}$$

Zatížení od bočních trámů

$$F_{k,btr} = \frac{4 \cdot 3,5 \cdot 4 \cdot 0,07 \cdot 0,2}{5} = 0,157 \text{ kN}$$

Zatížení od dětí na lávce

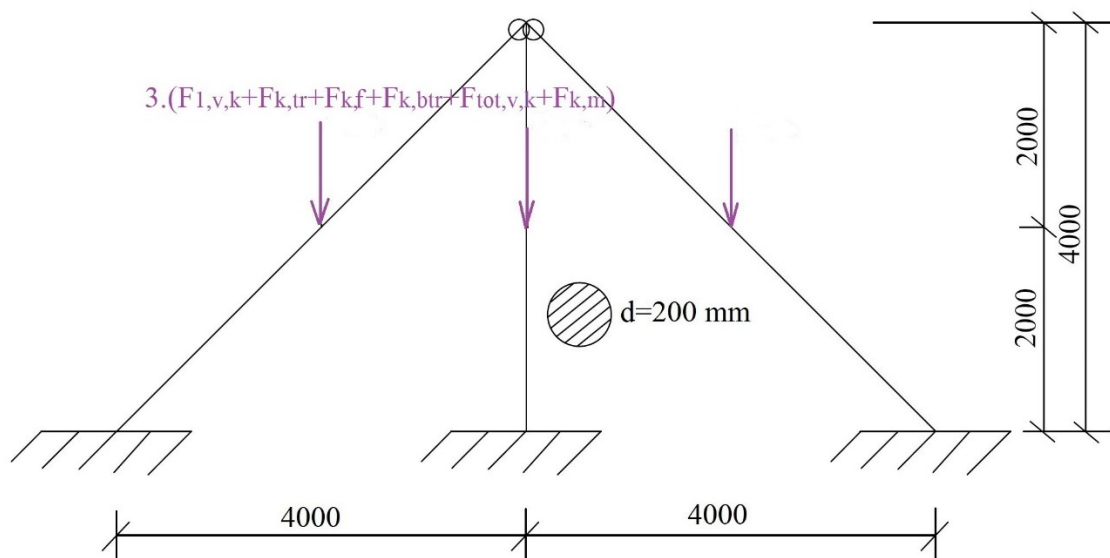
Celkové zatížení lávky dětmi je $F_{tot,v,k}=3,653 \text{ kN}$ a proto je uvažováno, že polovina tíhy se přenesse na sestavu Pyramida a druhá polovina na sestavu Kaskáda a tato síla se roznese do všech 5 sloupů. Proto je zatížení od dětí na mostku uvažováno takto:

$$F_{tot,v,k} = \frac{1}{2} \cdot \frac{3,653}{5} = 0,365 \text{ kN}$$

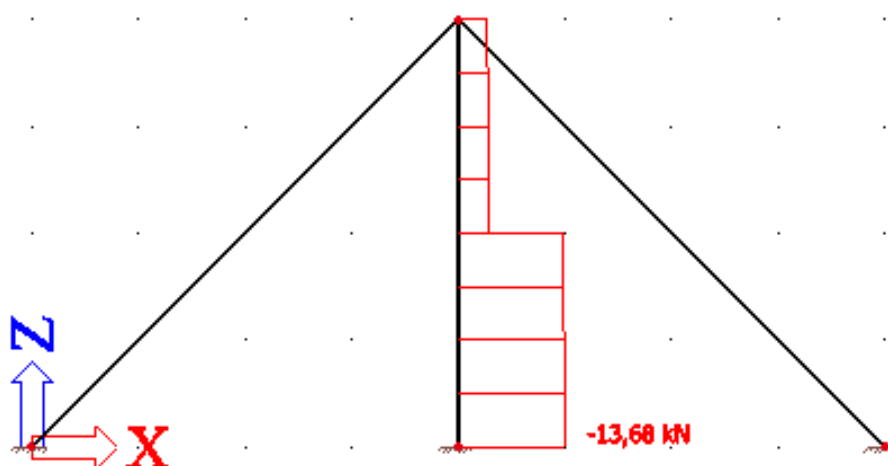
Zatížení od lávce

Je uvažováno, že vlastní tíha celé lávky je přibližně 20 kg/m^2 . Lávka má půdorysné rozměry $2 \times 0,9 \text{ m}$. Opět je uvažováno, že polovina tíhy se přenesle na sestavu Pyramida a polovina na sestavu Kaskáda.

$$F_{k,m} = \frac{1}{2} \cdot \frac{0,2 \cdot 2 \cdot 0,9}{5} = 0,036 \text{ kN}$$



Obrázek 42 – Statické schéma středového sloupu



Obrázek 43 – Průběh normálových sil

Vnitřní síly:

$$N_{Ed} = -13,68 \text{ kN}$$

Posouzení sloupu na tlak rovnoběžně s vlákny, který je oslaben od zapaštěných trámů

Maximální normálové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$A_{osl} = 0,0191 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N_{Ed}|}{A_{osl}} = \frac{13,68 \cdot 10^3}{0,0191} = 0,715 \text{ MPa} \quad (40)$$

Posouzení na tlak rovnoběžně s vlákny:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (41)$$

$$0,063 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu na vzpěr

Výpočet součinitele vzpěrnosti:

Vzpěrná délka l_{cr} je u tohoto typu uložení 0,7 násobku skutečné délky nosníku dle Eulerových vztahů.

$$I = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot r^4 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,1^4 = 7,854 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4 \quad (42)$$

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 0,1^2 = 0,0314 \text{ m}^2 \quad (43)$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{7,854 \cdot 10^{-5}}{0,0314}} = 0,05 \quad (44)$$

$$l_{cr} = 0,7 \cdot l = 0,7 \cdot 2 = 1,4 \text{ m} \quad (45)$$

$$\lambda = \frac{l_{cr}}{i} = \frac{1,4}{0,05} = 28 \quad (46)$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{28}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 0,475 \quad (47)$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (0,475 - 0,3) + 0,475^2] = 0,63 \quad (48)$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{0,63 + \sqrt{0,63^2 - 0,475^2}} = 0,957 \quad (49)$$

Maximální normálové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N_{Ed}|}{A} = \frac{13,68 \cdot 10^3}{0,0314} = 0,435 \text{ MPa}$$

Posouzení na vzpěr:

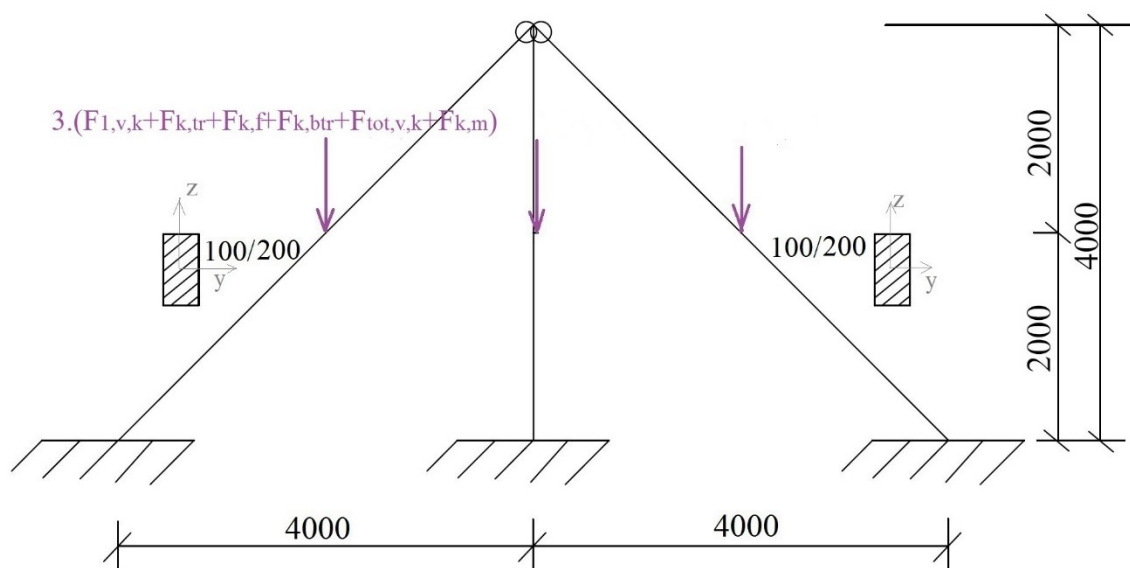
$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (50)$$

$$\frac{0,435}{0,957 \cdot 11,308} \leq 1$$

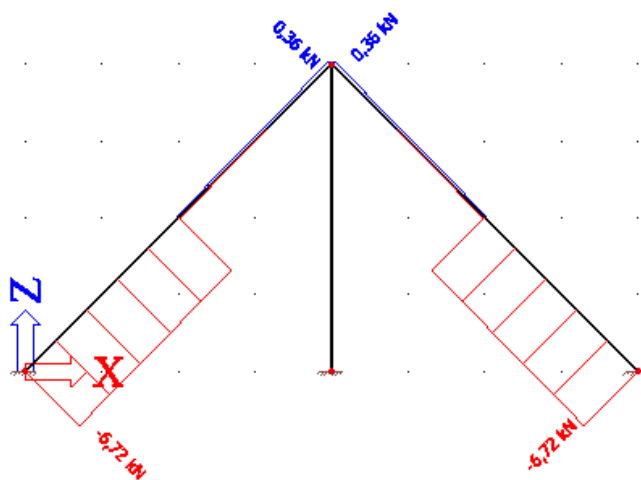
$$0,040 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.2.5 Šikmé sloupy

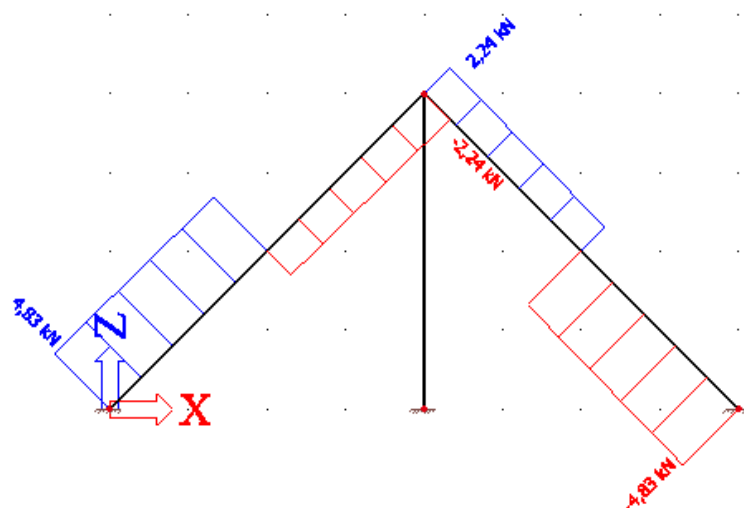
Pro šikmé sloupy je uvažováno zatížení od dětí, fošen, trámů, přídatného trámů, lávky a dětí na lávce jako u předchozího sloupu a je také uvažováno s vlastní tíhou sloupů.



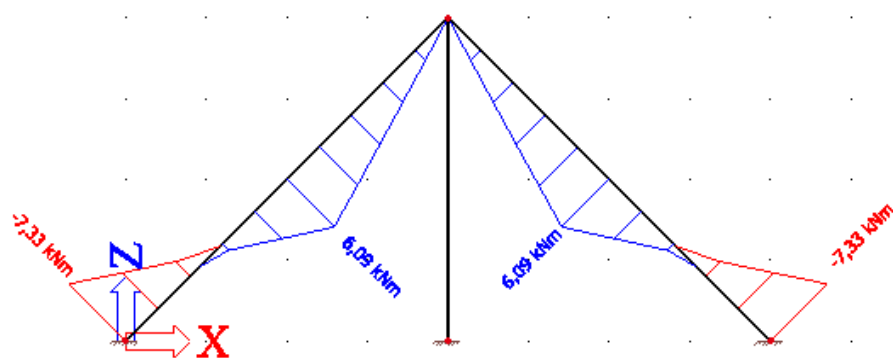
Obrázek 44 – Statické schéma šikmých sloupů



Obrázek 45 – Průběh normálových sil



Obrázek 46 – Průběh posouvajících sil



Obrázek 47 – Průběh ohybových momentů

Vnitřní síly:

$$N_{Ed} = -6,72 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 4,83 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = -7,33 \text{ kNm}$$

Posouzení sloupu na tlak a ohyb

Maximální normálové napětí za ohybu:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,1 \cdot 0,23^2 = 0,000882 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{|M_{Ed}|}{W_y} = \frac{7,33 \cdot 10^3}{0,000882} = 8,314 \text{ MPa}$$

$$k_m = 0,7 \quad \text{pro obdélníkový průřez}$$

Výpočet součinitele vzpěrnosti:

Vzpěrná délka l_{cr} je u tohoto typu uložení 0,7 násobku skutečné délky nosníku dle Eulerových vztahů.

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,1 \cdot 0,23^3 = 1,014 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$A = b \cdot h = 0,1 \cdot 0,23 = 0,023 \text{ m}^2$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1,014 \cdot 10^{-4}}{0,023}} = 0,066$$

$$l_{cr} = 0,7 \cdot l = 0,7 \cdot 2,828 = 1,980 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_{cr}}{i_y} = \frac{1,98}{0,066} = 29,815$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{29,815}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 0,506$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (0,506 - 0,3) + 0,506^2] = 0,648$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{0,648 + \sqrt{0,648^2 - 0,506^2}} = 0,949$$

Maximální normálové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N_{Ed}|}{A} = \frac{6,72 \cdot 10^3}{0,023} = 0,292 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad (51)$$

$$0,671 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad (52)$$

$$0,478 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení sloupu na tlak a ohyb v místě osedlání

Prut bude posouzení na kombinace ohybového momentu s prostým tlakem v místě osedlání na středový sloup, kde je prut oslaben. Zářez v místě osedlání oslabí krokev o cca 30 mm.

Excentricita normálové síly vzhledem k posunutému těžišti oslabeného prutu je $e=15\text{mm}$.

Maximální normálové napětí za ohybu:

$$W_{y,osl} = \frac{1}{6} \cdot b \cdot (h - 0,03)^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,1 \cdot (0,23 - 0,03)^2 = 0,000667 \text{ m}^3 \quad (53)$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{|M_{Ed}| + |N_{Ed}| \cdot e}{W_{y,osl}} = \frac{7,33 \cdot 10^3 + 6,72 \cdot 10^3 \cdot 0,015}{0,000667} = 11,146 \text{ MPa} \quad (54)$$

Maximální normálové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$A_{osl} = b \cdot (h - 0,03) = 0,1 \cdot (0,23 - 0,03) = 0,02 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N_{Ed}|}{A_{osl}} = \frac{6,72 \cdot 10^3}{0,02} = 0,336 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,892 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu na smyk

Maximální smykové napětí:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,1 = 0,067 \text{ m}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,067 \cdot 0,23 = 0,0154 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 4,83 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,0154} = 0,47 \text{ MPa}$$

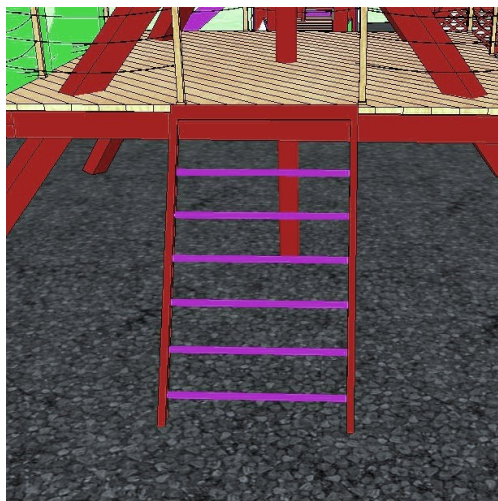
Posouzení na smyk:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$0,349 \leq 1$$

VYHOVUJE

9.2.6 Příčle žebříku



Obrázek 48 – Žebřík u sestavy Pyramida

Příčle žebříku jsou zatíženy pouze dětmi a vlastní tíhou.

Zatížení od dětí

Maximální počet dětí dle kapitoly 8.1:

$$n = \frac{L_{pr}}{0,6} = \frac{6 \cdot 1,35}{0,6} = 13,5 \Rightarrow 14 \text{ dětí}$$

Výpočet váhy dětí a celkové síly dle kapitoly 8.1:

$$G_n = 14 \cdot 53,8 + 1,64 \cdot 9,6 \cdot \sqrt{14} = 812,109 \text{ kg}$$

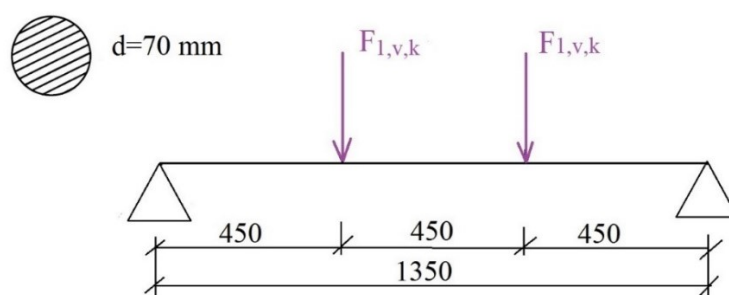
$$C_{dyn} = 1 + \frac{1}{14} = 1,071$$

$$F_{tot,v,k} = 10 \cdot 812,109 \cdot 1,071 = 8,698 \text{ kN}$$

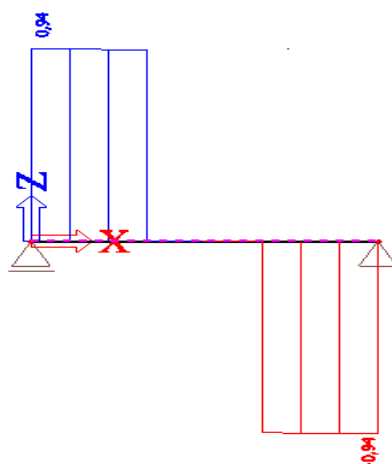
Přepočet síly na zatížení od jednoho uživatele.

$$F_{1,v,k} = \frac{8,698}{14} = 0,621 \text{ kN}$$

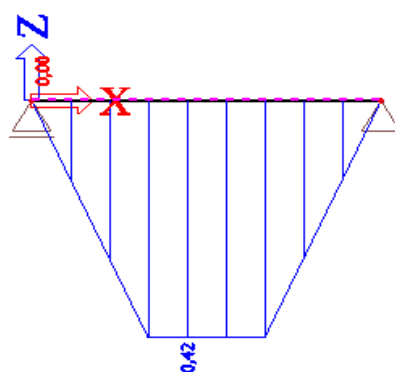
Jelikož je délka příčle 1,35 m je uvažováno, že se na jednu příčel vejdou dvě děti.



Obrázek 49 – Statické schéma příčlí žebříku



Obrázek 50 – Průběh posouvajících sil



Obrázek 51 – Průběh ohybových momentů

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 0,94 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 0,42 \text{ kNm}$$

Posouzení průřezu na smyk

Maximální smykové napětí:

$$A_{ef} = \pi \cdot r^2 \cdot 0,67 = \pi \cdot 0,035^2 \cdot 0,67 = 0,0026 \text{ m}^2 \quad (55)$$

$$\tau_{v,d} = \frac{4 \cdot V_{Ed}}{3 \cdot A_{ef}} = \frac{4 \cdot 0,94 \cdot 10^3}{3 \cdot 0,0026} = 0,486 \text{ MPa} \quad (56)$$

Posouzení na smyk:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$0,406 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu na klopení

Kritické napětí pro celistvý obdelníkový průřez z jehličnatého dřeva:

$$l_{ef} = 0,8 \cdot 1,35 = 1,08 \text{ m}$$

Torzní moment setrvačnosti:

$$I_{tor} = \frac{1}{32} \cdot \pi \cdot d^4 = \frac{1}{32} \cdot \pi \cdot 0,07^4 = 2,357 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \quad (57)$$

Moment setrvačnosti k ose menší tuhosti:

$$I_z = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot r^4 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,035^4 = 1,179 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \quad (58)$$

Průřezový modul:

$$W = \frac{1}{32} \cdot \pi \cdot d^3 = \frac{1}{32} \cdot \pi \cdot 0,07^3 = 3,367 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \quad (59)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{m,crit} &= \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{7,4 \cdot 10^9 \cdot 1,179 \cdot 10^{-6} \cdot 690 \cdot 10^6 \cdot 2,357 \cdot 10^{-6}}}{1,08 \cdot 3,367 \cdot 10^{-5}} \\ &= 325,349 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (60)$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{325,349}} = 0,272$$

Maximální normálové napětí za ohybu:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{0,42 \cdot 10^3}{3,367 \cdot 10^{-5}} = 12,473 \text{ MPa}$$

Posouzení na klopení:

$$k_{crit} = 1 \quad \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

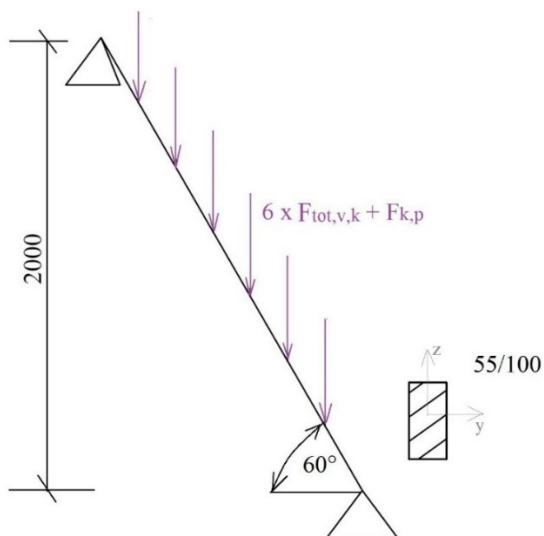
$$0,965 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.2.7 Stojka žebříku

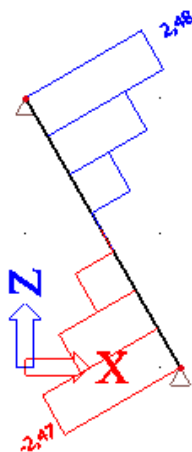
Stojka žebříku je zatížena dětmi stojícími na příčlích, proto je $F_{tot,v,k}=0,621 \text{ kN}$ a také vlastní tíhou příčlí a také opět vlastní tíhou stojky.

Vlastní tíha příčlí

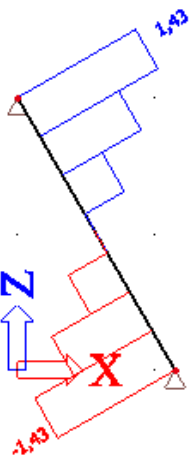
$$F_{k,p} = 3,5 \cdot \pi \cdot 0,035^2 \cdot 0,675 = 0,0091 \text{ kN}$$



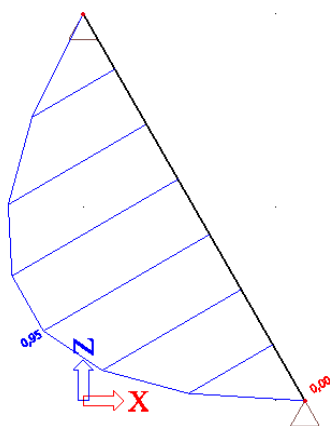
Obrázek 52 – Statické schéma stojky žebříku



Obrázek 53 – Průběh normálových sil



Obrázek 54 – Průběh posouvajících sil



Obrázek 55 – Průběh ohybových momentů

Vnitřní síly:

$$N_{Ed} = 2,48 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 1,43 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 0,95 \text{ kNm}$$

Posouzení stojky na tlak a ohyb

Maximální normálové napětí za ohybu:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,055 \cdot 0,1^2 = 9,167 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{0,95 \cdot 10^3}{9,167 \cdot 10^{-5}} = 10,364 \text{ MPa}$$

$$k_m = 0,7 \quad \text{pro obdelníkový průřez}$$

Výpočet součinitele vzpěrnosti:

Vzpěrná délka l_{cr} je u tohoto typu uložení 0,7 násobku skutečné délky nosníku dle Eulerových vztahů.

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,055 \cdot 0,1^3 = 4,583 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$A = b \cdot h = 0,055 \cdot 0,1 = 0,0055 \text{ m}^2$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{4,583 \cdot 10^{-6}}{0,0055}} = 0,029 \text{ m}$$

$$l_{cr} = 0,7 \cdot l = 0,7 \cdot 2,3 = 1,61 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_{cr}}{i_y} = \frac{1,61}{0,029} = 55,772$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{55,772}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 0,946$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (0,946 - 0,3) + 0,946^2] = 1,012$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{1,012 + \sqrt{1,012^2 - 0,946^2}} = 0,729$$

Maximální normálové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{2,48 \cdot 10^3}{0,0055} = 0,451 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,857 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,616 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu na smyk

Maximální smykové napětí:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,055 = 0,037 \text{ m}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,037 \cdot 0,1 = 0,0037 \text{ m}^2$$

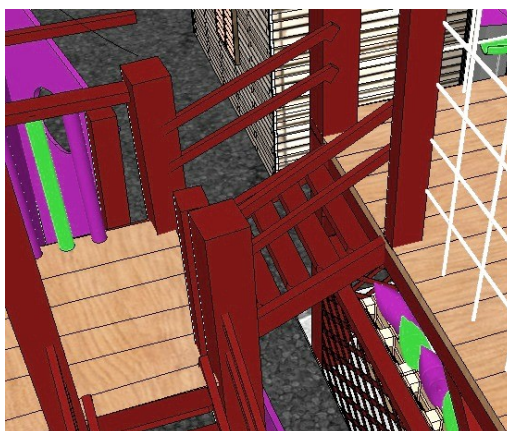
$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 1,43 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,0037} = 0,582 \text{ MPa}$$

Posouzení na smyk:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$0,432 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.3 Schůdky



Obrázek 56 – Schůdky

Schůdky jsou použity pro propojení více sestav. Spojují sestavu Domeček se sestavou Kaskáda, dále také sestavu Loď s altánem a na Lodi jsou také schůdky pro přechod z jedné plošiny na druhou. Navrhnuty jsou ty největší schůdky a s tímto zatížením je uvažováno i na ostatních sestavách. Půdorysný rozměr schůdků je 0,8 x 1,2 m.

Schůdky jsou tvořeny schodišťovými stupni a schodnicemi.

9.3.1 Schodišťové stupně

Stupně jsou zatíženy dětmi stojícími na jednotlivých stupních a vlastní tíhou.

Zatížení od dětí

Maximální počet dětí dle kapitoly 8.1:

$$n = \frac{L_{pr}}{0,6} = \frac{5 \cdot 0,8}{0,6} = 6,667 \Rightarrow 7 \text{ dětí}$$

Výpočet váhy dětí a celkové síly dle kapitoly 8.1:

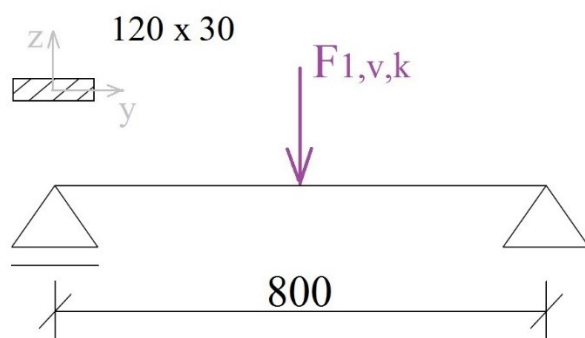
$$G_n = 7 \cdot 53,8 + 1,64 \cdot 9,6 \cdot \sqrt{7} = 418,255 \text{ kg}$$

$$C_{dyn} = 1 + \frac{1}{7} = 1,143$$

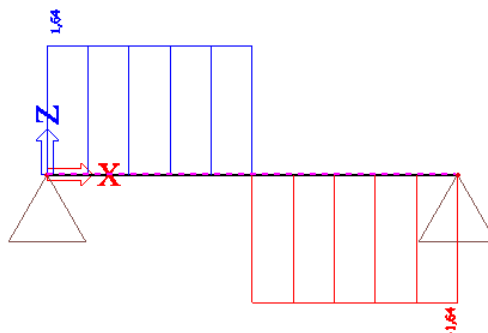
$$F_{tot,v,k} = 10 \cdot 418,255 \cdot 1,143 = 4,78 \text{ kN}$$

Přepočet síly na zatížení od jednoho uživatele.

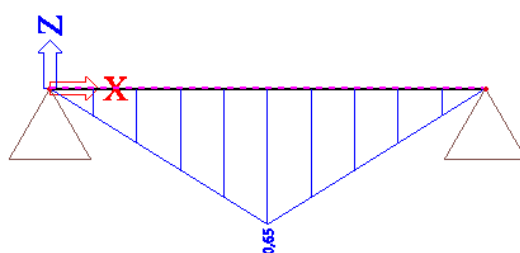
$$F_{1,v,k} = \frac{4,78}{7} = 0,683 \text{ kN}$$



Obrázek 57 – Statické schéma schodišťových stupňů



Obrázek 58 – Průběh posouvajících sil



Obrázek 59 – Průběh ohybových momentů

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 1,64 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 0,65 \text{ kNm}$$

Posouzení průřezu na ohyb

Maximální normálové napětí za ohybu:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,12 \cdot 0,03^2 = 0,000072 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{0,65 \cdot 10^3}{0,000072} = 9,028 \text{ MPa}$$

Posouzení na ohyb:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,699 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu na smyk

Maximální smykové napětí:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,125 = 0,084 \text{ m}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,084 \cdot 0,03 = 0,00241 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 1,64 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,00241} = 1,02 \text{ MPa}$$

Posouzení na smyk:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$0,758 \leq 1$$

VYHOVUJE

9.3.2 Schodnice

Schodnice jsou zatíženy schodišťovými stupni, dětmi a vlastní tíhou.

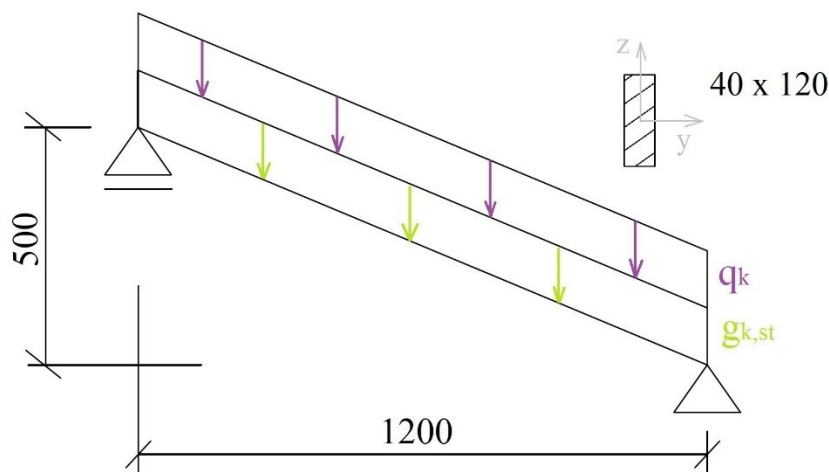
Zatížení od dětí

Z minulého výpočtu vyšlo zatížení od dětí na schůdkách $F_{tot,v,k} = 4,78 \text{ kN}$, tato síla se roznese do obou schodnic a ta je přepočtena na zatížení spojitě.

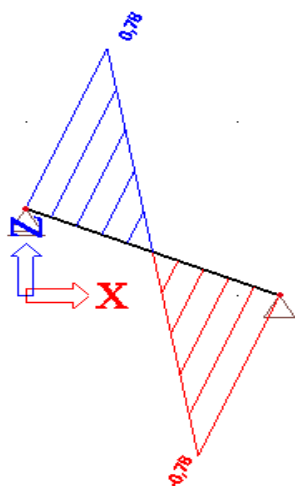
$$q_k = \frac{1}{2} \cdot \frac{4,78}{1,2} = 1,992 \text{ kN/m}$$

Vlastní tíha schodišťových stupňů

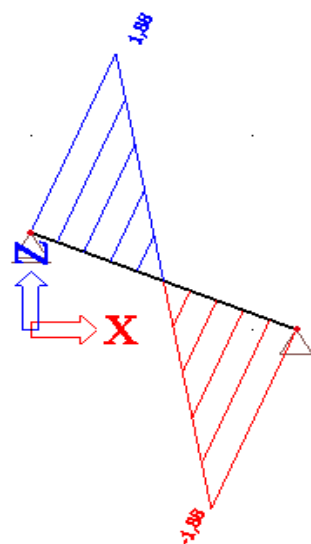
$$g_{k,st} = 3,5 \cdot 0,4 \cdot 0,03 = 0,042 \text{ kN/m}$$



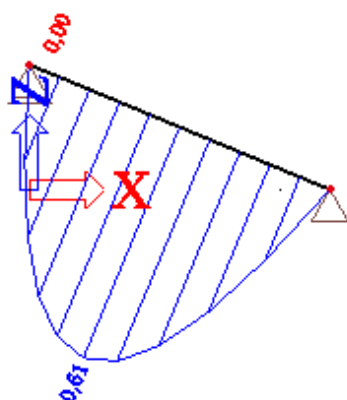
Obrázek 60 – Statické schéma schodnice



Obrázek 61 – Průběh normálových sil



Obrázek 62 – Průběh posouvajících sil



Obrázek 63 – Průběh ohybových momentů

Vnitřní síly:

$$N_{Ed} = 0,78 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 1,88 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 0,61 \text{ kNm}$$

Posouzení schodnice na tlak a ohyb

Maximální normálové napětí za ohybu:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,04 \cdot 0,12^2 = 9,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{0,61 \cdot 10^3}{9,6 \cdot 10^{-5}} = 6,354 \text{ MPa}$$

$$k_m = 0,7 \quad \text{pro obdelníkový průřez}$$

Výpočet součinitele vzpěrnosti:

Vzpěrná délka l_{cr} se u tohoto typu uložení rovná skutečné délce nosníku dle Eulerových vztahů.

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,04 \cdot 0,12^3 = 5,76 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$A = b \cdot h = 0,04 \cdot 0,12 = 0,0048 \text{ m}^2$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{5,76 \cdot 10^{-6}}{0,0048}} = 0,035 \text{ m}$$

$$l_{cr} = l = 1,3 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_{cr}}{i_y} = \frac{1,3}{0,035} = 37,528$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{37,528}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 0,636$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (0,636 - 0,3) + 0,636^2] = 0,736$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{0,736 + \sqrt{0,736^2 - 0,636^2}} = 0,904$$

Maximální normálové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{0,78 \cdot 10^3}{0,0048} = 0,163 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,508 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,36 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu na smyk

Maximální smykové napětí:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,04 = 0,027 \text{ m}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,027 \cdot 0,12 = 0,0032 \text{ m}^2$$

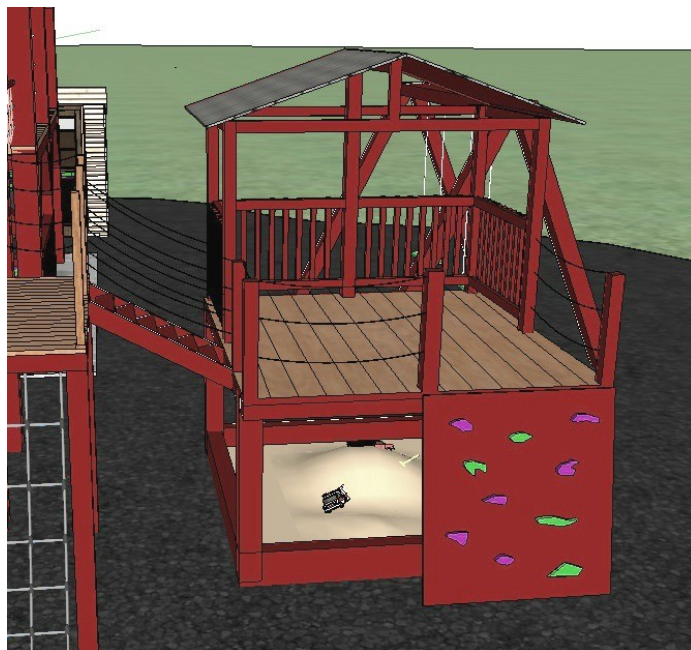
$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 1,88 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,0032} = 0,877 \text{ MPa}$$

Posouzení na smyk:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

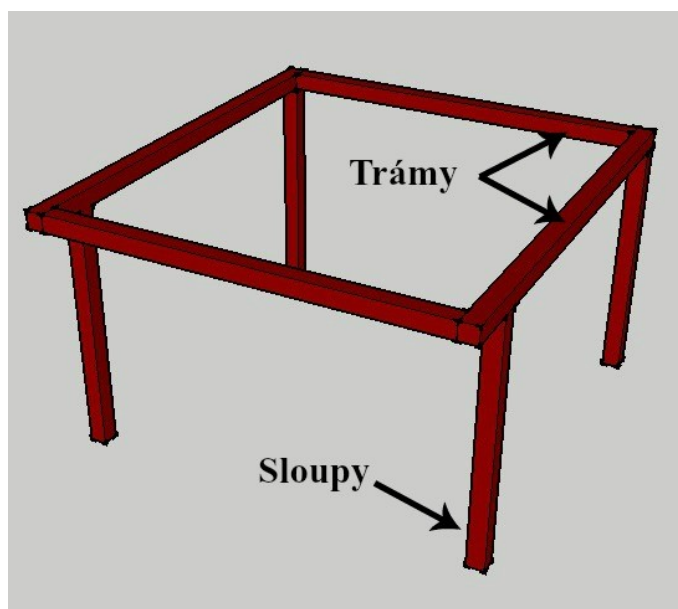
$$0,651 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.4 Domeček



Obrázek 64 – Sestava Domeček

Hlavní nosná část sestavy Domeček je tvořena sloupy a trámy na kterých jsou uloženy fošny. Sestava má také stříšku, která je tvořena latěmi a asfaltovým střešním šindelem a je podepřena pěti sloupky.



Obrázek 65 – Hlavní nosný skelet sestavy Domeček

9.4.1 Sloupky

Sloupky jsou zatíženy sedlovou stříškou, která je tvořena latěmi a asfaltovým střešním šindelem. Je také počítáno se zatížením od sněhu, aby sloupky odolaly i v zimním období když na stříšku napadne sníh. Uvažováno je i s vlastní hmotností sloupku.

Zatížení asfaltovým šindelem

Váha střešního systému je 9 kg/m^2 . Uvažováno, že sloupek bude zatížen čtvrtinou stříšky. Stříška má půdorysné rozměry $2,7 \times 1,5 \text{ m}$ a sklon stříšky je 20° .

$$F_{k,s} = 0,09 \cdot 1,462 \cdot 0,75 = 0,1 \text{ kN}$$

Zatížení od latí pod střešním šindelem

Byly zvoleny latě výšky 20 mm . Také uvažováno, že sloupek přebere čtvrtinu latí od stříšky.

$$F_{k,l} = 3,5 \cdot 1,462 \cdot 0,75 \cdot 0,02 = 0,077 \text{ kN}$$

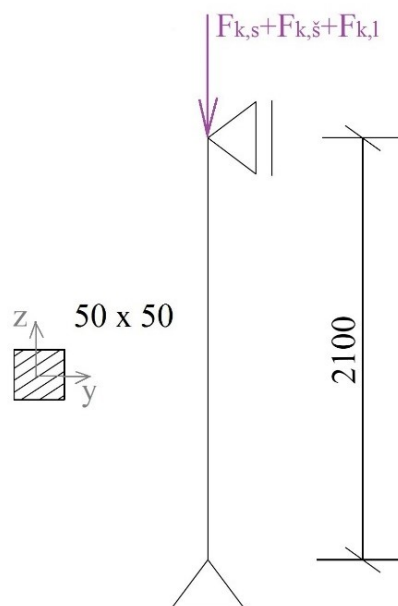
Zatížení sněhem

Charakteristická hodnota zatížení sněhem je $s_k = 0,8 \text{ kN/m}^2$.

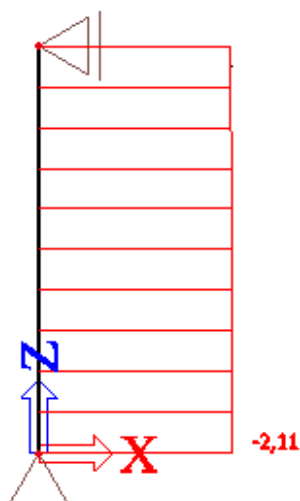
$$F_{k,s} = 0,8 \cdot 1,462 \cdot 0,75 = 0,877 \text{ kN}$$

Zatížení od ostatních trámů

Jelikož stříška není navrhována, je přidáno $0,5 \text{ kN}$ do zatížení sloupku.



Obrázek 66 – Statické schéma sloupků



Obrázek 67 – Průběh normálových sil

Vnitřní síly:

$$N_{Ed} = -2,11 \text{ kN}$$

Posouzení průřezu na vzpěr

Výpočet součinitele vzpěrnosti:

Vzpěrná délka l_{cr} je u tohoto typu uložení skutečná délka nosníku dle Eulerových vztahů.

$$A = b \cdot h = 0,05 \cdot 0,05 = 0,0025 \text{ m}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,05 \cdot 0,05^3 = 5,208 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$A = b \cdot h = 0,05 \cdot 0,05 = 0,0025 \text{ m}^2$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{5,208 \cdot 10^{-7}}{0,0025}} = 0,014 \text{ m}$$

$$l_{cr} = l = 2,1 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_{cr}}{i_y} = \frac{2,1}{0,014} = 145,492$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{145,492}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 2,467$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (2,467 - 0,3) + 2,467^2] = 3,76$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{3,76 + \sqrt{3,76^2 - 2,467^2}} = 0,152$$

Maximální normálové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N_{Ed}|}{A} = \frac{2,11 \cdot 10^3}{0,0025} = 0,844 \text{ MPa}$$

Posouzení na vzpěr:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$0,492 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.4.2 Fošny

Fošny jsou zatíženy dětmi a také svou vlastní tíhou.

Zatížení od dětí

Maximální počet dětí:

$$n = \frac{A_{pr}}{0,36} = \frac{2,5 \cdot 2,7}{0,36} = 18,75 \Rightarrow 19 \text{ dětí}$$

Výpočet váhy dětí a celkové síly dle 0:

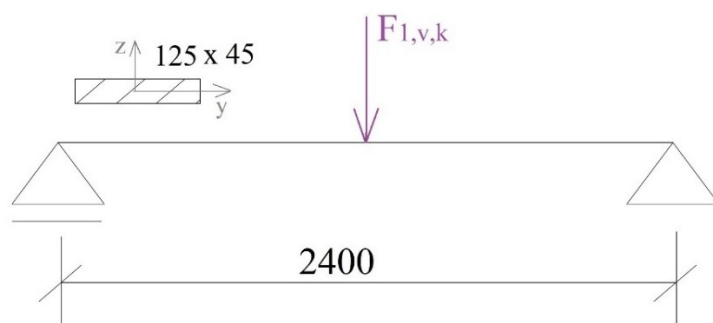
$$G_n = 19 \cdot 53,8 + 1,64 \cdot 9,6 \cdot \sqrt{19} = 1090,827 \text{ kg}$$

$$C_{dyn} = 1 + \frac{1}{19} = 1,053$$

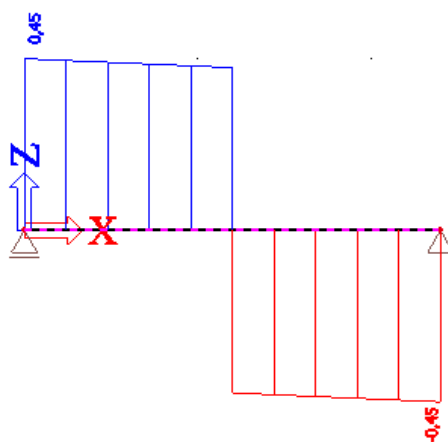
$$F_{tot,v,k} = 10 \cdot 1090,827 \cdot 1,053 = 11,486 \text{ kN}$$

Navrhovaná šířka jedné fošny je 125 mm a na celou plošinu se těchto fošen vejde 20. Zatížení od dětí na jednu fošnu je proto poděleno počtem fošen a s tímto zatížením od dětí jsou fošeny navrženy a posouzeny. Zatížení je uvažováno jako bodová síla uprostřed nosníku, jelikož je to nejnepríznivější zatížení na fošnu.

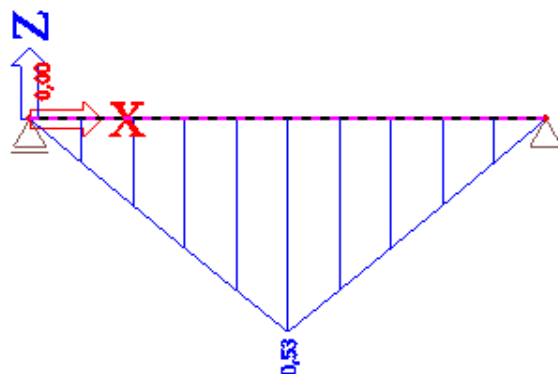
$$F_{1,v,k} = \frac{11,486}{20} = 0,574 \text{ kN}$$



Obrázek 68 – Statické schéma fošen



Obrázek 69 – Průběh posouvajících sil



Obrázek 70 – Průběh ohybových momentů

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 0,45 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 0,53 \text{ kNm}$$

Posouzení průřezu na smyk

Maximální smykové napětí:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,125 = 0,084 \text{ m}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,084 \cdot 0,045 = 0,0038 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 0,45 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,0038} = 0,179 \text{ MPa}$$

Posouzení na smyk:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$0,133 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu na klopení

Kritické napětí pro celistvý obdélníkový průřez z jehličnatého dřeva:

$$l_{ef} = 0,8 \cdot 2,4 = 1,92 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,125^2}{0,045 \cdot 1,92} \cdot 7400 \cdot 10^3 = 1043,837 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{1043,837}} = 0,151$$

Maximální normálové napětí za ohybu:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,125 \cdot 0,045^2 = 4,219 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{0,53 \cdot 10^3}{4,219 \cdot 10^{-5}} = 12,563 \text{ MPa}$$

Posouzení na klopení:

$$k_{crit} = 1 \quad \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,972 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.4.3 Trámy

Trámy jsou zatíženy dětmi, schůdky, které propojují sestavu Domeček se sestavou Kaskáda, také dětmi, které se mohou na schůdkách vyskytovat. Dále pak jsou přitíženy fošnami a sloupy se stříškou.

Zatížení od dětí

Z předchozího výpočtu vyšlo zatížení dětí na plošině $F_{tot,v,k} = 11,486 \text{ kN}$. To je dále přepočteno, že každý trám přenesl $\frac{1}{4}$ celkového zatížení dětí a přepočteno na zatížení spojitě.

$$q_k = \frac{1}{4} \cdot \frac{11,486}{2,7} = 1,066 \text{ kN/m}$$

Zatížení od fošen

$$g_{k,f} = 3,5 \cdot 0,625 \cdot 0,045 = 0,098 \text{ kN/m}$$

Zatížení od dětí na schůdkách

Celkové zatížení dětmi na chůdkách je $4,78 \text{ kN}$ a proto je uvažováno, že polovina tíhy se přenesl na sestavu Domeček a druhá polovina na sestavu Kaskáda a ta se rozloží do dvou sil. Proto je zatížení od dětí na schůdkách uvažováno takto:

$$F_{tot,v,k} = \frac{4,78}{4} = 1,195 \text{ kN}$$

Zatížení od schůdků

Je uvažováno, že vlastní tíha celých schůdků je přibližně 20 kg/m^2 . Schody mají půdorysné rozměry $1,1 \times 0,7 \text{ m}$. Opět je uvažováno, že polovina tíhy se přenesou na sestavu Domeček a polovina na sestavu Kaskáda.

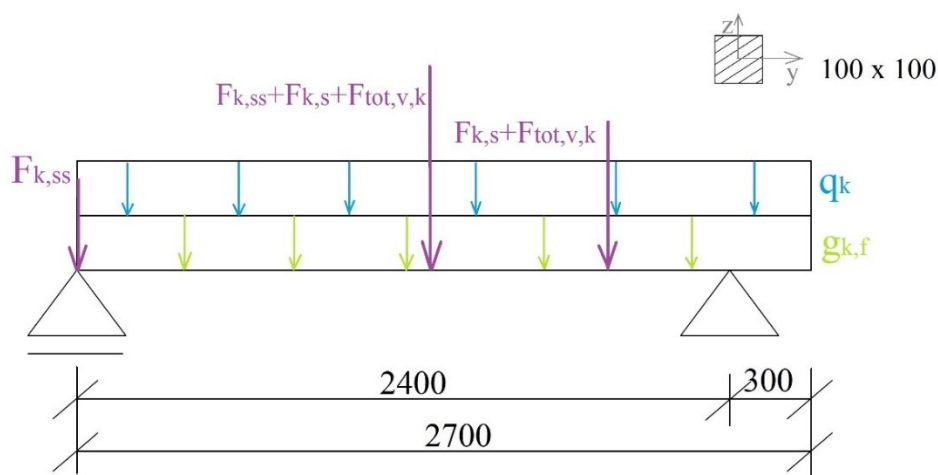
$$F_{k,s} = \frac{0,2 \cdot 0,7 \cdot 1,1}{4} = 0,039 \text{ kN}$$

Zatížení od sloupků a stříšky

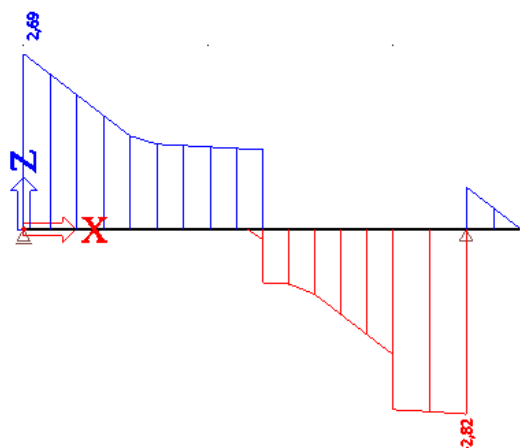
Zatížení je vypočteno tak, že jsou vypočítány hmotnosti všech prvků od stříšky a sloupků a to je poděleno pěti, protože zatížení od stříšky se roznese do všech pěti sloupků.

$$F_{k,ss} = 0,17 \text{ kN}$$

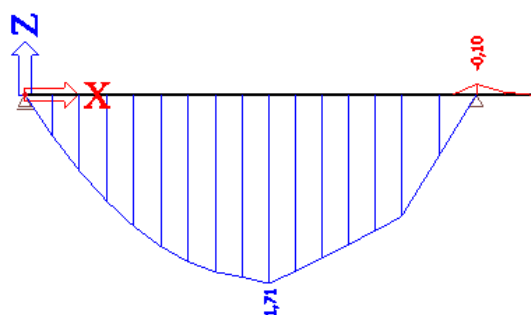
Tyto hodnoty jsou opět zadány do programu a je uvažováno i s vlastní tíhou trámu.



Obrázek 71 – Statické schéma trámů



Obrázek 72 – Průběh posouvajících sil



Obrázek 73 – Průběh ohybových momentů

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = -2,82 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 1,71 \text{ kNm}$$

Posouzení průřezu na smyk

Maximální smykové napětí:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,1 = 0,067 \text{ m}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,067 \cdot 0,1 = 0,0067 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot |V_{Ed}|}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 2,82 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,0067} = 0,631 \text{ MPa}$$

Posouzení na smyk:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$0,469 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu na klopení

Kritické napětí pro celistvý obdélníkový průřez z jehličnatého dřeva:

$$l_{ef} = 0,9 \cdot 2,4 = 2,16 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,1^2}{0,1 \cdot 2,16} \cdot 7400 \cdot 10^3 = 267,222 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{267,222}} = 0,3$$

Maximální normálové napětí za ohybu:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,1 \cdot 0,1^2 = 0,0001667 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{1,71 \cdot 10^3}{0,0001667} = 10,26 \text{ MPa}$$

Posouzení na klopení:

$$k_{crit} = 1 \quad \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,794 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.4.4 Sloupy

Spodní sloupy jsou zatíženy celou sestavou a to od stříšky, sloupků, schůdků, dětí na schůdkách, od fošen, od dětí na plošině, od trámů a v neposlední řadě také vlastní tíhou.

Hodnoty zatížení jsou brány z předchozího výpočtu.()

Zatížení od stříšky a sloupků

$$F_{k,ss} = 0,17 \text{ kN}$$

Zatížení od schůdků

$$F_{k,s} = 0,039 \text{ kN}$$

Zatížení od dětí na schůdkách

$$F_{tot,v,k} = 1,195 \text{ kN}$$

Zatížení od fošen

Uvažováno, že každý sloup převezme ¼ zatížení od všech fošen.

$$F_{k,f} = 3,5 \cdot 1,25 \cdot 1,35 \cdot 0,045 = 0,266 \text{ kN}$$

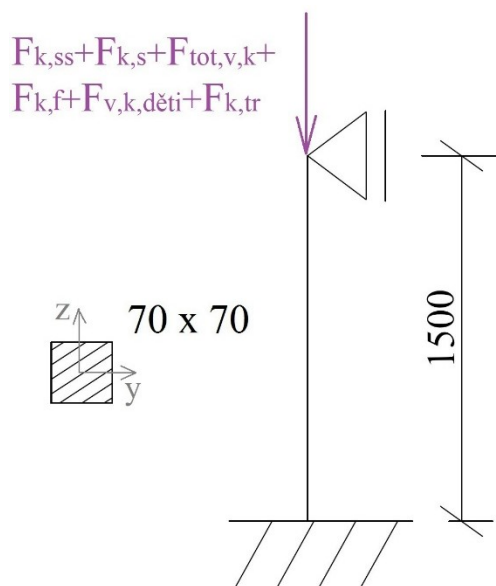
Zatížení od dětí na plošině

$$F_{v,k,deti} = \frac{F_{tot,v,k}}{4} = \frac{11,486}{4} = 2,872 \text{ kN}$$

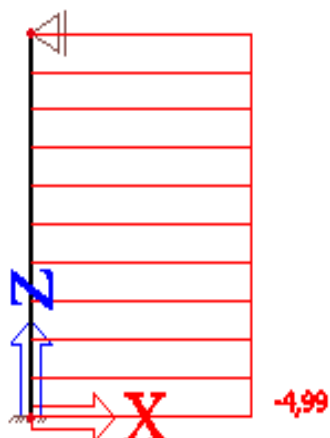
Zatížení od trámů

Uvažováno, že každý soupek přenesse jeden trám.

$$F_{k,tr} = 3,5 \cdot 0,1 \cdot 0,1 \cdot 2,7 = 0,09 \text{ kN}$$



Obrázek 74 – Statické schéma sloupů



Obrázek 75 – Průběh normálových sil

Vnitřní síly:

$$N_{Ed} = -4,99 \text{ kN}$$

Posouzení průřezu na vzpěr

Výpočet součinitele vzpěrnosti:

Vzpěrná délka l_{cr} je u tohoto typu uložení 0,7 násobku skutečné délky nosníku dle Eulerových vztahů.

$$A = b \cdot h = 0,07 \cdot 0,07 = 0,0049 \text{ m}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,07 \cdot 0,07^3 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$A = b \cdot h = 0,07 \cdot 0,07 = 0,0049 \text{ m}^2$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-6}}{0,0049}} = 0,02 \text{ m}$$

$$l_{cr} = 0,7 \cdot l = 0,7 \cdot 1,5 = 1,05 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_{cr}}{i_y} = \frac{1,05}{0,02} = 51,962$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{51,962}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 0,881$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (0,881 - 0,3) + 0,881^2] = 0,946$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{0,946 + \sqrt{0,946^2 - 0,881^2}} = 0,774$$

Maximální normálové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N_{Ed}|}{A} = \frac{4,99 \cdot 10^3}{0,0049} = 1,018 \text{ MPa}$$

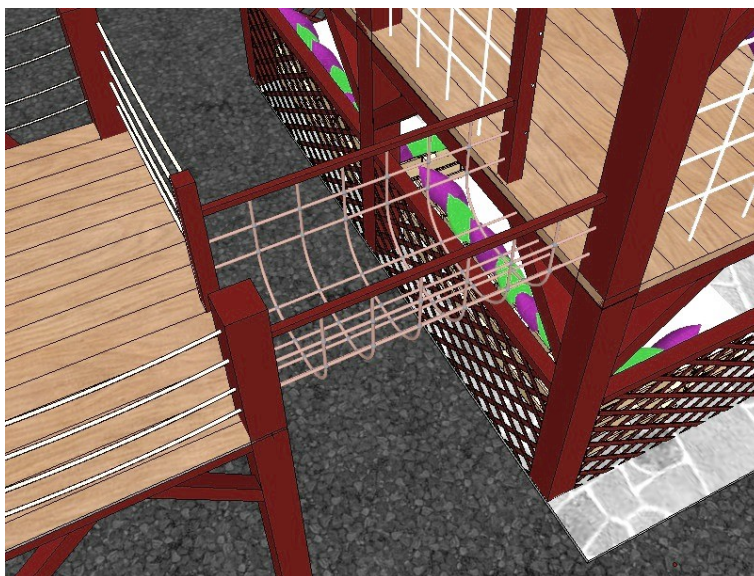
Posouzení na vzpěr:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$0,116 \leq 1$$

VYHOVUJE

9.5 Lanový most



Obrázek 76 – Lanový most

Lanový most spojuje sestavu Kaskáda s altánem. Je tvořena dvěma zábradelními trámy na kterých je zavěšena prostorová síť.

9.5.1 Zábradelní trámy

Dalším posuzovaným prvkem je nosník zatížení prostorovou lanovou sítí. Zábradelní trám přenesení polovinu zatížení od dětí a je započítána přibližná hmotnost lana a opět vlastní tíha.

Zatížení od dětí

Maximální počet dětí dle kapitoly 8.1:

$$n = \frac{V}{0,45} = \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 0,8}{0,45} = 2,844 \Rightarrow 3 \text{ děti}$$

Výpočet váhy dětí a celkové síly dle kapitoly 8.1:

$$G_n = 3 \cdot 53,8 + 1,64 \cdot 9,6 \cdot \sqrt{3} = 188,669 \text{ kg}$$

$$C_{dyn} = 1 + \frac{1}{3} = 1,333$$

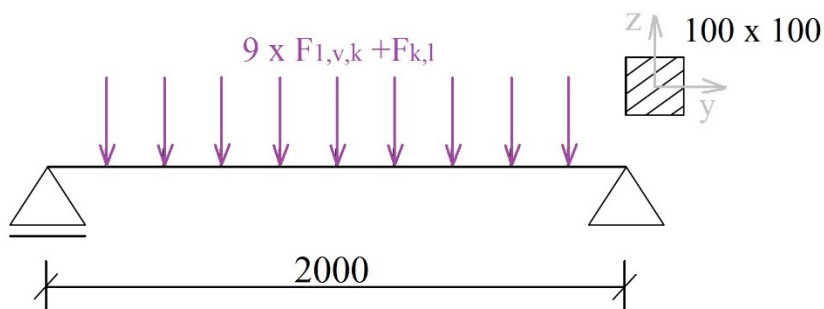
$$F_{tot,v,k} = 10 \cdot 188,669 \cdot 1,333 = 2,515 \text{ kN}$$

Zatížení je rozpočítáno do jednotlivých lan.

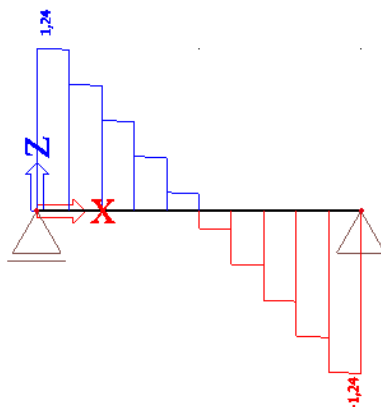
$$F_{1,v,k} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2,515}{9} = 0,14 \text{ kN}$$

Zatížení od lan

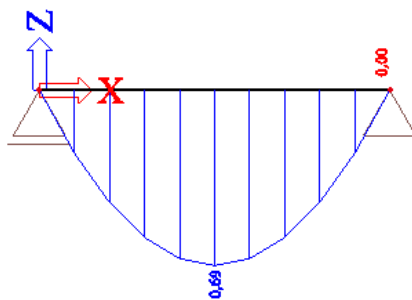
Tíha od lan je zvolena $F_{k,l} = 0,05 \text{ kN}$.



Obrázek 77 – Statické schéma zábradelního trámu



Obrázek 78 – Průběh posouvajících sil



Obrázek 79 – Průběh ohybových momentů

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 1,24 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 0,69 \text{ kNm}$$

Posouzení průřezu na smyk

Maximální smykové napětí:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,1 = 0,067 \text{ m}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,067 \cdot 0,1 = 0,0067 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 1,24 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,0067} = 0,278 \text{ MPa}$$

Posouzení na smyk:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$0,206 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení průřezu na klopení

Kritické napětí pro celistvý obdélníkový průřez z jehličnatého dřeva:

$$l_{ef} = 0,8 \cdot 2 = 1,6 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,1^2}{0,1 \cdot 1,6} \cdot 7400 \cdot 10^3 = 360,750 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{360,750}} = 0,258$$

Maximální normálové napětí za ohybu:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,1 \cdot 0,1^2 = 0,000167 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{0,69 \cdot 10^3}{0,000167} = 4,14 \text{ MPa}$$

Posouzení na klopení:

$$k_{crit} = 1 \quad \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,32 \leq 1$$

VYHOVUJE

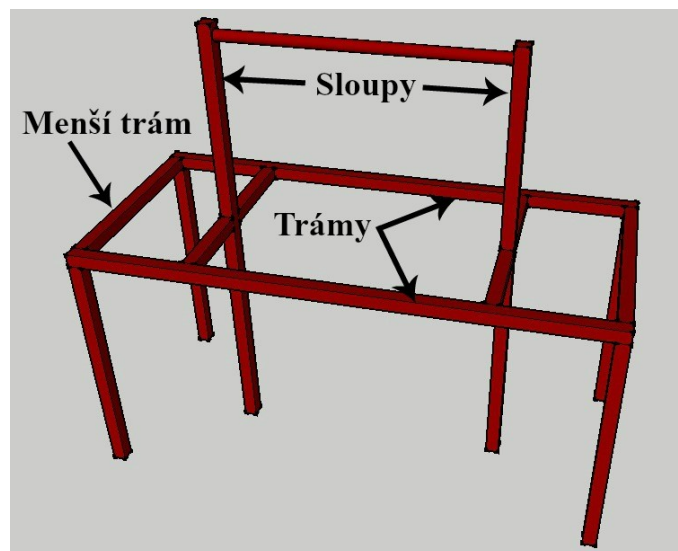
9.6 Kaskáda



Obrázek 80 – Sestava Kaskáda

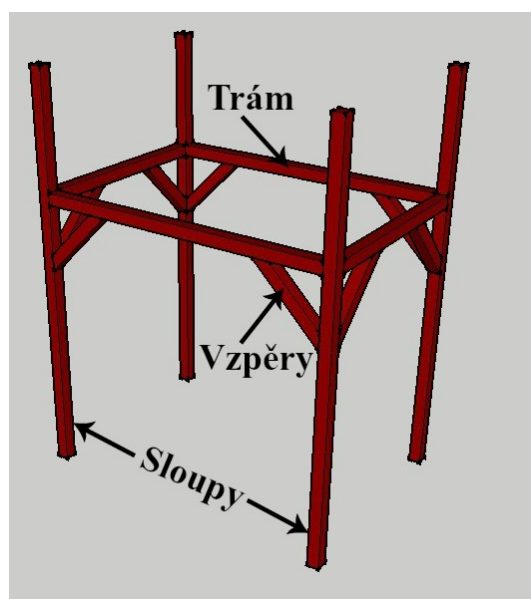
Sestava Kaskáda je tvořena dvěma částmi zvaných Kaskáda 1 a Kaskáda 2.

Kaskáda 1 je tvořena dvěma vysokými sloupy, trámy, menším bočním trámem, které jsou ještě podepřeny menšími čtyřmi sloupy. Pro chůzi je plošina je tvořena prkny.



Obrázek 81 – Skelet sestavy Kaskáda 1

Druhá část sestavy Kaskáda 2 je tvořena čtyřmi sloupy spojených trámy a na nich prkna.



Obrázek 82 – Skelet sestavy Kaskáda 2

9.6.1 Kaskáda 1 – prkna

Prkna jsou zatížena pouze dětmi a vlastní tíhou.

Zatížení od dětí

Maximální počet dětí dle kapitoly 8.1:

$$n = \frac{A_{pr}}{0,36} = \frac{4 \cdot 1,8}{0,36} = 20 \text{ dětí}$$

Výpočet váhy dětí a celkové síly dle kapitoly 8.1:

$$G_n = 20 \cdot 53,8 + 1,64 \cdot 9,6 \cdot \sqrt{20} = 1146,409 \text{ kg}$$

$$C_{dyn} = 1 + \frac{1}{20} = 1,05$$

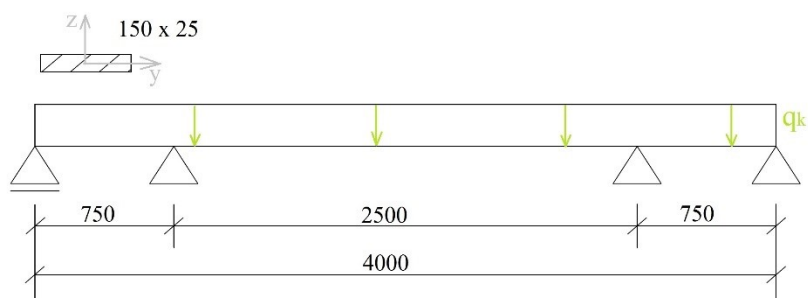
$$F_{tot,v,k} = 10 \cdot 1146,409 \cdot 1,05 = 12,037 \text{ kN}$$

Navrhovaná šířka jednoho prkna je 150 mm a na celou plošinu se těchto prken vejde 12. Zatížení od dětí na jedno prkno je proto poděleno počtem prken a s tímto zatížením od dětí jsou prkna navržena a posouzena.

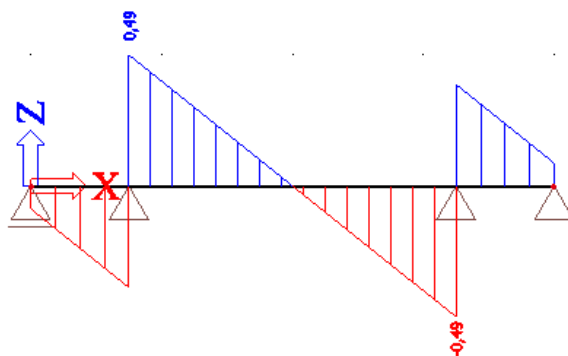
$$F_{1,v,k} = \frac{12,037}{12} = 1,003 \text{ kN}$$

Přepočteno ještě na spojitě zatížení.

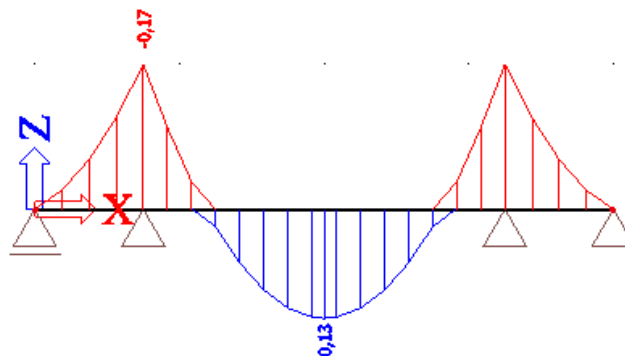
$$q_k = \frac{1,003}{4} = 0,251 \text{ kN/m}$$



Obrázek 83 – Statické schéma prken



Obrázek 84 – Průběh posouvajících sil



Obrázek 85 – Průběh ohybových momentů

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 0,49 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = -0,17 \text{ kNm}$$

Posouzení průřezu na smyk

Maximální smykové napětí:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,15 = 0,101 \text{ m}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,101 \cdot 0,025 = 0,00251 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 0,49 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,00251} = 0,293 \text{ MPa}$$

Posouzení na smyk:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$0,217 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu na klopení

Kritické napětí pro celistvý obdélníkový průřez z jehličnatého dřeva:

$$l_{ef} = 0,9 \cdot 2,5 = 2,25 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,15^2}{0,025 \cdot 2,25} \cdot 7400 \cdot 10^3 = 2308,800 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{2308,8}} = 0,102$$

Maximální normálové napětí za ohybu:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,15 \cdot 0,025^2 = 1,563 \cdot 10^{-5} m^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{|M_{Ed}|}{W_y} = \frac{0,17 \cdot 10^3}{1,563 \cdot 10^{-5}} = 10,88 MPa$$

Posouzení na klopení:

$$k_{crit} = 1 \quad \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,842 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.6.2 Kaskáda 1 – trámy

Trámy na delší straně plošiny jsou zatíženy prkny, dětmi na plošině a také dětmi na sítích.

Zatížení od dětí na plošině

Z předchozího výpočtu latí vyšlo $F_{tot,v,k} = 12,037 \text{ kN}$. To je dále přepočítáno, že každý trám přenes 1/4 celkového zatížení dětí a přepočítáno na zatížení spojitě.

$$q_k = \frac{1}{4} \cdot \frac{12,037}{4} = 0,752 \text{ kN/m}$$

Zatížení od prken

$$g_{k,p} = 3,5 \cdot 0,9 \cdot 0,025 = 0,079 \text{ kN/m}$$

Zatížení od dětí na síti

Maximální počet dětí dle kapitoly 8.1:

$$n = \frac{L_{pr}}{0,6} = \frac{0,9}{0,6} = 1,5 = 2 \text{ děti}$$

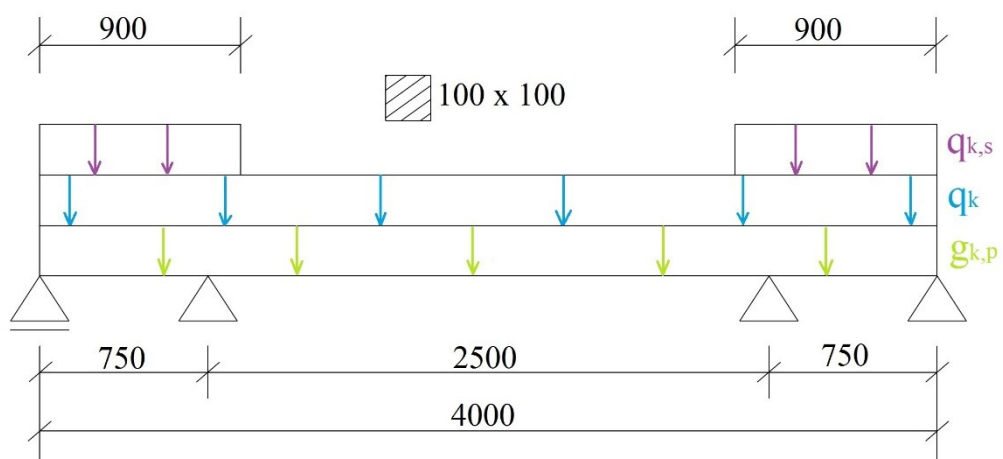
Výpočet váhy dětí a celkové síly dle kapitoly 8.1:

$$G_n = 2 \cdot 53,8 + 1,64 \cdot 9,6 \cdot \sqrt{2} = 129,865 \text{ kg}$$

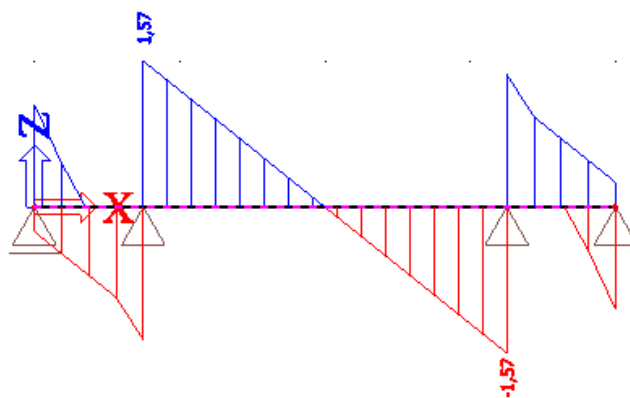
$$C_{dyn} = 1 + \frac{1}{2} = 1,5$$

$$F_{tot,v,k} = 10 \cdot 129,865 \cdot 1,5 = 1,948 \text{ kN}$$

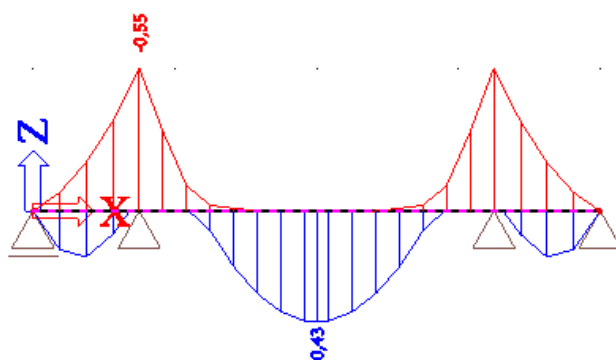
$$q_{k,s} = \frac{1,948}{0,9} = 2,164 \text{ kN/m}$$



Obrázek 86 – Statické schéma trámů



Obrázek 87 – Průběh posouvajících sil



Obrázek 88 – Průběh ohybových momentů

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 1,57 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = -0,55 \text{ kNm}$$

Posouzení průřezu na smyk

Maximální smykové napětí:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,1 = 0,067 \text{ m}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,067 \cdot 0,1 = 0,0067 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 1,57 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,0067} = 0,351 \text{ MPa}$$

Posouzení na smyk:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$0,261 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu na klopení

Kritické napětí pro celistvý obdélníkový průřez z jehličnatého dřeva:

$$l_{ef} = 0,9 \cdot 2,5 = 2,25 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,1^2}{0,1 \cdot 2,25} \cdot 7400 \cdot 10^3 = 256,533 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{256,533}} = 0,306$$

Maximální normálové napětí za ohybu:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,1 \cdot 0,1^2 = 0,000167 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{|M_{Ed}|}{W_y} = \frac{0,55 \cdot 10^3}{0,000167} = 3,3 \text{ MPa}$$

Posouzení na klopení:

$$k_{crit} = 1 \quad \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,255 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.6.3 Kaskáda 1 – trám menší

Jelikož je z jedné strany plošiny připojena lávka a z druhé strany schůdky, které spojují další sestavy, je trámek posouzen také. Je tedy počítáno s prkny, zatížením od schůdků jelikož je větší než zatížení od lávky. Dále pak zatížení od dětí z plošiny a dětí, které se nacházejí na schůdkách.

Zatížení od dětí na plošině

Z předchozího výpočtu prken vyšlo $F_{tot,v,k} = 12,037 \text{ kN}$. To je dále přepočítáno, že každý trám přenesení 1/4 celkového zatížení dětí a přepočítáno na zatížení spojitě.

$$q_k = \frac{1}{4} \cdot \frac{12,037}{1,8} = 1,672 \text{ kN/m}$$

Zatížení od prken

$$g_{k,p} = 3,5 \cdot 1 \cdot 0,025 = 0,088 \text{ kN/m}$$

Zatížení od dětí na schůdkách

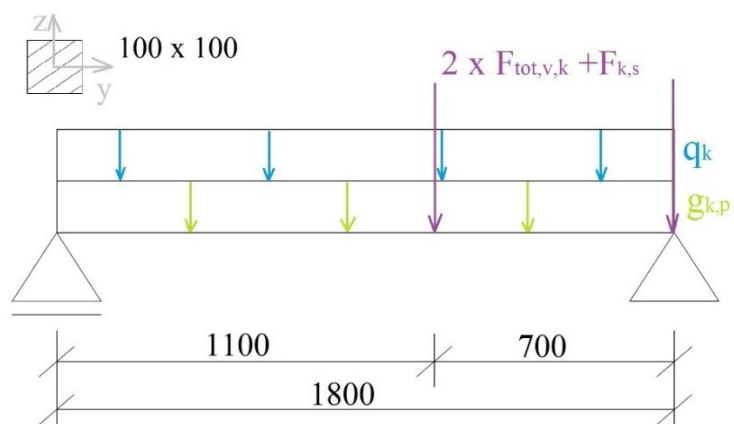
Celkové zatížení dětmi na schůdkách je $F_{tot,v,k} = 4,78 \text{ kN}$ a proto je uvažováno, že polovina tíhy se přenesení na sestavu Domeček a druhá polovina na sestavu Kaskáda a ta se rozloží do dvou sil. Proto je zatížení od dětí na schůdkách uvažováno takto:

$$F_{tot,v,k} = \frac{4,78}{4} = 1,195 \text{ kN}$$

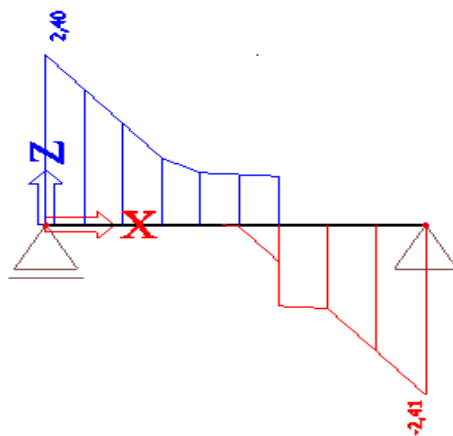
Zatížení od schůdků

Je uvažováno, že vlastní tíha celých schůdků je přibližně 20 kg/m^2 . Schody mají půdorysné rozměry $1,1 \times 0,7 \text{ m}$. Opět je uvažováno, že polovina tíhy se přenesení na sestavu Domeček a polovina na sestavu Kaskáda.

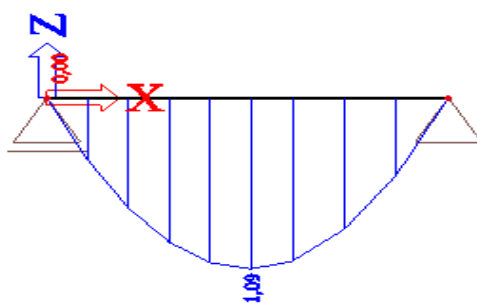
$$F_{k,s} = \frac{0,2 \cdot 0,7 \cdot 1,1}{4} = 0,039 \text{ kN}$$



Obrázek 89 – Statické schéma menšího trámu



Obrázek 90 – Průběh posouvajících sil



Obrázek 91 – Průběh ohybových momentů

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = -2,41 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 1,09 \text{ kNm}$$

Posouzení průřezu na smyk

Maximální smykové napětí:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,1 = 0,067 \text{ m}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,067 \cdot 0,1 = 0,0067 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot |V_{Ed}|}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 2,41 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,0067} = 0,54 \text{ MPa}$$

Posouzení na smyk:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$0,401 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu na klopení

Kritické napětí pro celistvý obdélníkový průřez z jehličnatého dřeva:

$$l_{ef} = 0,9 \cdot 1,8 = 1,62 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,1^2}{0,1 \cdot 1,62} \cdot 7400 \cdot 10^3 = 356,296 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{356,296}} = 0,26$$

Maximální normálové napětí za ohybu:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,1 \cdot 0,1^2 = 0,000167 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{1,09 \cdot 10^3}{0,000167} = 6,54 \text{ MPa}$$

Posouzení na klopení:

$$k_{crit} = 1 \quad \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,506 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.6.4 Kaskáda 1 – sloupy

Sloupy jsou přitíženy dětmi z plošiny, prkny, trámy, lávkou a schůdky a dětmi na nich.

Zatížení od dětí na plošině

Z výpočtu dětí vyšlo $F_{tot,v,k} = 12,037 \text{ kN}$. To je dále přepočítáno, že každý sloup přenesl 1/6 celkového zatížení dětí.

$$F_{1,v,k} = \frac{12,037}{6} = 2,006 \text{ kN}$$

Zatížení od prken

$$F_{k,p} = \frac{3,5 \cdot 1,8 \cdot 4 \cdot 0,025}{6} = 0,105 \text{ kN}$$

Zatížení od trámů

$$F_{k,tr} = \frac{3,5 \cdot 0,1 \cdot 0,1 \cdot 2 \cdot (4 + 1,6 + 1,5)}{6} = 0,083 \text{ kN}$$

Zatížení od lávky a schůdků

Z předchozích výpočtů vyšlo zatížení od schůdků $F_{k,s} = 0,039 \text{ kN}$ a od lávky $F_{k,m} = 0,09 \text{ kN}$. Opět je uvažováno, že každý sloup přenesl 1/6 celkového zatížení.

$$F_{k,ms} = \frac{0,039 + 0,09}{6} = 0,022 \text{ kN}$$

Zatížení od dětí na schůdkách

Celkové zatížení dětmi na schůdkách je $F_{tot,v,k} = 4,78 \text{ kN}$.

Zatížení jednoho sloupu:

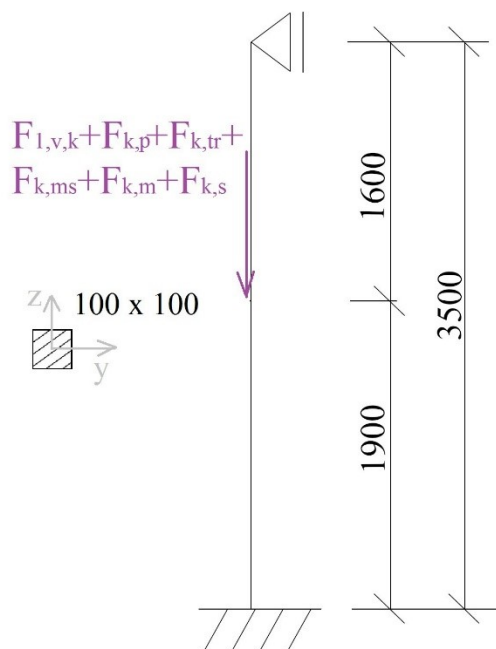
$$F_{k,s} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4,78}{6} = 0,398 \text{ kN}$$

Zatížení od dětí na lávce

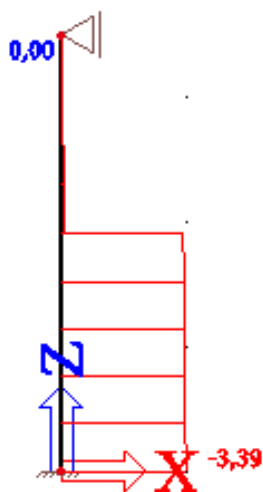
Celkové zatížení dětmi na lávce je $F_{tot,v,k} = 3,653 \text{ kN}$.

Zatížení jednoho sloupu:

$$F_{k,m} = \frac{1}{2} \cdot \frac{3,653}{6} = 0,305 \text{ kN}$$



Obrázek 92 – Statické schéma sloupů



Obrázek 93 – Průběh normálových sil

Vnitřní síly:

$$N_{Ed} = -3,39 \text{ kN}$$

Posouzení průřezu na vzpěr

Výpočet součinitele vzpěrnosti:

Vzpěrná délka l_{cr} je u tohoto typu uložení 0,7 násobku skutečné délky nosníku dle Eulerových vztahů.

$$A = b \cdot h = 0,1 \cdot 0,1 = 0,01 \text{ m}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,1 \cdot 0,1^3 = 8,333 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{8,333 \cdot 10^{-6}}{0,01}} = 0,029 \text{ m}$$

$$l_{cr} = 0,7 \cdot l = 0,7 \cdot 1,9 = 1,33 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_{cr}}{i_y} = \frac{1,33}{0,029} = 46,073$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{46,073}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 0,781$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (0,781 - 0,3) + 0,781^2] = 0,853$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{0,853 + \sqrt{0,853^2 - 0,781^2}} = 0,836$$

Maximální normálové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N_{Ed}|}{A} = \frac{3,39 \cdot 10^3}{0,01} = 0,339 \text{ MPa}$$

Posouzení na vzpěr:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$0,036 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.6.5 Kaskáda 2 – prkna

Latě jsou zatíženy pouze dětmi a vlastní tíhou.

Zatížení od dětí

Maximální počet dětí dle kapitoly 8.1:

$$n = \frac{A_{pr}}{0,36} = \frac{2,7 \cdot 1,7}{0,36} = 11,805 = 12 \text{ dětí}$$

Výpočet váhy dětí a celkové síly dle kapitoly 8.1:

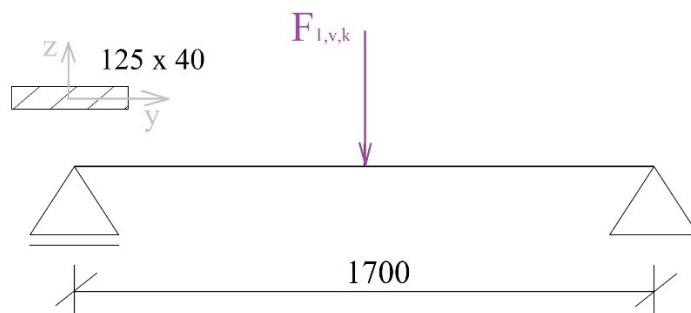
$$G_n = 12 \cdot 53,8 + 1,64 \cdot 9,6 \cdot \sqrt{12} = 700,139 \text{ kg}$$

$$C_{dyn} = 1 + \frac{1}{12} = 1,083$$

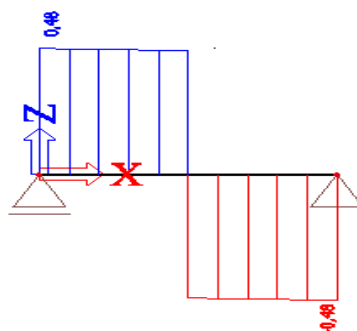
$$F_{tot,v,k} = 10 \cdot 700,139 \cdot 1,083 = 7,583 \text{ kN}$$

Navrhovaná šířka jednoho prkna je 125 mm a na celou plošinu se těchto prken vejde 20. Zatížení od dětí na jedno prkno je proto poděleno počtem dětí, jelikož bude zatížení větší.

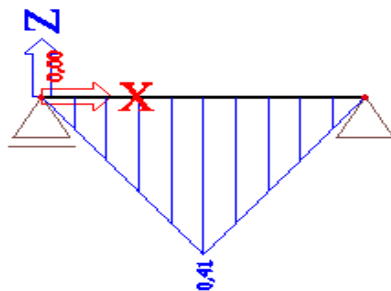
$$F_{1,v,k} = \frac{7,583}{12} = 0,632 \text{ kN}$$



Obrázek 94 – Statické schéma prken



Obrázek 95 – Průběh posouvajících sil



Obrázek 96 – Průběh ohybových momentů

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 0,48 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 0,41 \text{ kNm}$$

Posouzení průřezu na smyk

Maximální smykové napětí:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,125 = 0,084 \text{ m}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,084 \cdot 0,04 = 0,00335 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 0,48 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,00335} = 0,215 \text{ MPa}$$

Posouzení na smyk:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$0,16 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu na klopení

Kritické napětí pro celistvý obdélníkový průřez z jehličnatého dřeva:

$$l_{ef} = 0,8 \cdot 1,7 = 1,36 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,125^2}{0,04 \cdot 1,36} \cdot 7400 \cdot 10^3 = 1657,858 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{1657,858}} = 0,12$$

Maximální normálové napětí za ohybu:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,125 \cdot 0,04^2 = 3,333 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{0,41 \cdot 10^3}{3,333 \cdot 10^{-5}} = 12,3 \text{ MPa}$$

Posouzení na klopení:

$$k_{crit} = 1 \quad \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,952 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.6.6 Kaskáda 2 – trámy

Trámy na sestavě Kaskáda jsou zatíženy prkny, dětmi na plošině, lanovým mostem a dětmi na lanovém mostě, který spojuje sestavu Kaskáda a altán a také vlastní tíhou trámu.

Zatížení od dětí na plošině

Z předchozího výpočtu latí vyšlo $F_{tot,v,k} = 7,583 \text{ kN}$. To je dále přepočítáno, že každý trám přenesl 1/4 celkového zatížení dětí a přepočítáno na zatížení spojitě.

$$q_k = \frac{1}{4} \cdot \frac{7,583}{2,5} = 0,758 \text{ kN/m}$$

Zatížení od prken

$$g_{k,p} = 3,5 \cdot 0,85 \cdot 0,04 = 0,119 \text{ kN/m}$$

Zatížení od dětí na lanovém mostě

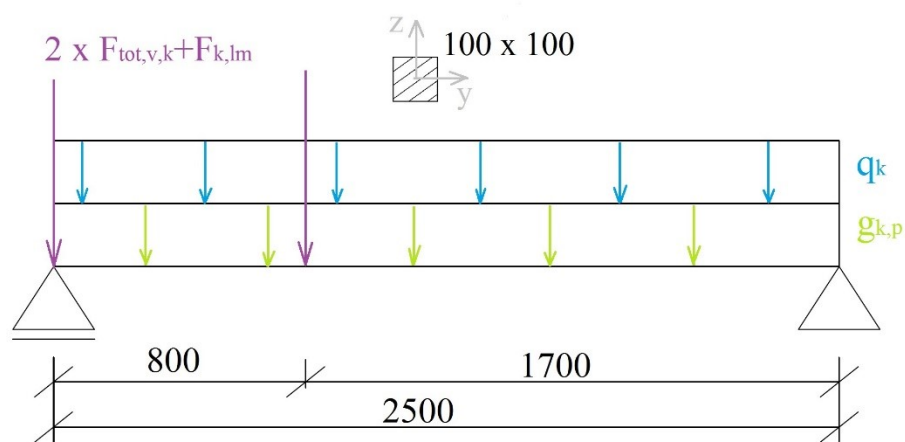
Celkové zatížení dětmi na lanovém mostě je $F_{tot,v,k} = 2,515 \text{ kN}$ a proto je uvažováno, že polovina tíhy se přenesl na altán a druhá polovina na sestavu Kaskáda a ta se rozloží do dvou sil. Proto je zatížení od dětí na lanovém mostě uvažováno takto:

$$F_{tot,v,k} = \frac{2,515}{4} = 0,629 \text{ kN}$$

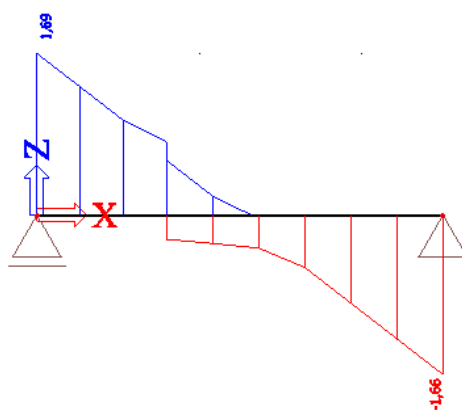
Zatížení od lanového mostu

Je uvažováno, že vlastní tíha lanového mostu je přibližně 15 kg/m^2 . Most má půdorysné rozměry $2 \times 0,8 \text{ m}$. Opět je uvažováno, že polovina tíhy se přenesl na altán a polovina na sestavu Kaskáda.

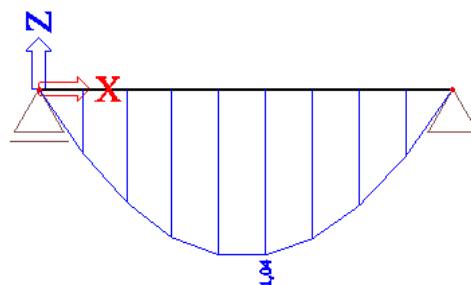
$$F_{k,lm} = \frac{0,15 \cdot 0,8 \cdot 2}{4} = 0,06 \text{ kN}$$



Obrázek 97 – Statické schéma trámu



Obrázek 98 – Průběh posouvajících sil



Obrázek 99 – Průběh ohybových momentů

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 1,69 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 1,04 \text{ kNm}$$

Posouzení průřezu na smyk

Maximální smykové napětí:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,1 = 0,067 \text{ m}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,067 \cdot 0,1 = 0,0067 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 1,69 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,0067} = 0,378 \text{ MPa}$$

Posouzení na smyk:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$0,281 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu na klopení

Kritické napětí pro celistvý obdélníkový průřez z jehličnatého dřeva:

$$l_{ef} = 0,9 \cdot 2,5 = 2,25 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,1^2}{0,1 \cdot 2,25} \cdot 7400 \cdot 10^3 = 256,533 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{256,533}} = 0,306$$

Maximální normálové napětí za ohybu:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,1 \cdot 0,1^2 = 0,000167 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{1,04 \cdot 10^3}{0,000167} = 6,24 \text{ MPa}$$

Posouzení na klopení:

$$k_{crit} = 1 \quad \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,483 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.6.7 Sloup

Sloup je zatížen dětmi, které se mohou nacházet na plošině, prkny, trámy. Dále pak lanovým mostem a dětmi, které se na něm mohou vyskytovat.

Zatížení od dětí na plošině

Z výpočtu dětí na plošině vyšlo $F_{tot,v,k} = 7,583 \text{ kN}$. To je dále přepočítáno, že každý sloup přenese $\frac{1}{4}$ celkového zatížení dětí.

$$F_{1,v,k} = \frac{7,583}{4} = 1,896 \text{ kN}$$

Zatížení od prken

$$F_{k,p} = \frac{3,5 \cdot 1,7 \cdot 2,5 \cdot 0,04}{4} = 0,149 \text{ kN}$$

Zatížení od trámů

Zatížení od trámů je bráno, že každý sloup přenese jeden trám, proto je vybrán ten nejdelší.

$$F_{k,tr} = 3,5 \cdot 0,1 \cdot 0,1 \cdot 2,5 = 0,088 \text{ kN}$$

Zatížení od dětí na lanovém mostě

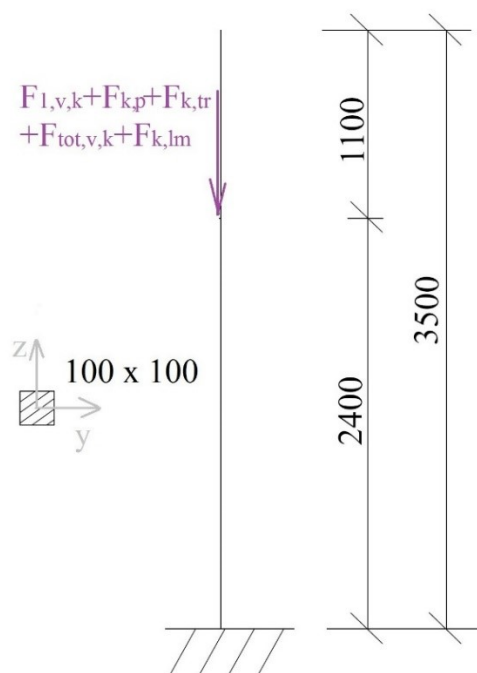
Celkové zatížení dětmi na lanovém mostě je $F_{tot,v,k} = 2,515 \text{ kN}$. Polovina tíhy se přenese na sestavu Kaskáda a druhá polovina na altán. Ta se poté roznese na všechny čtyři sloupy.

$$F_{tot,v,k} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2,515}{4} = 0,314 \text{ kN}$$

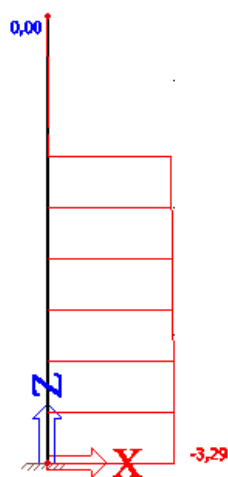
Zatížení od lanového mostu

Je uvažováno, že vlastní tíha lanového mostu je přibližně 15 kg/m^2 . Most má půdorysné rozměry $2 \times 0,8 \text{ m}$. Polovina tíhy se přenese na sestavu Kaskáda a druhá polovina na altán. Ta se poté roznese na všechny čtyři sloupy.

$$F_{k,lm} = \frac{1}{2} \cdot \frac{0,15 \cdot 0,8 \cdot 2}{4} = 0,03 \text{ kN}$$



Obrázek 100 – Statické schéma sloupů



Obrázek 101 – Průběh normálových sil

Vnitřní síly:

$$N_{Ed} = -3,29 \text{ kN}$$

Posouzení průřezu na vzpěr

Výpočet součinitele vzpěrnosti:

Vzpěrná délka l_{cr} je u tohoto typu uložení dvojnásobek skutečné délky nosníku dle Eulerových vztahů.

$$A = b \cdot h = 0,1 \cdot 0,1 = 0,01 \text{ m}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,1 \cdot 0,1^3 = 8,333 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{8,333 \cdot 10^{-6}}{0,01}} = 0,029 \text{ m}$$

$$l_{cr} = 2 \cdot l = 2 \cdot 3,5 = 7 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_{cr}}{i_y} = \frac{7}{0,029} = 242,487$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{242,487}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 4,112$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (4,112 - 0,3) + 4,112^2] = 9,335$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{9,335 + \sqrt{9,335^2 - 4,112^2}} = 0,056$$

Maximální normálové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N_{Ed}|}{A} = \frac{3,29 \cdot 10^3}{0,01} = 0,329 \text{ MPa}$$

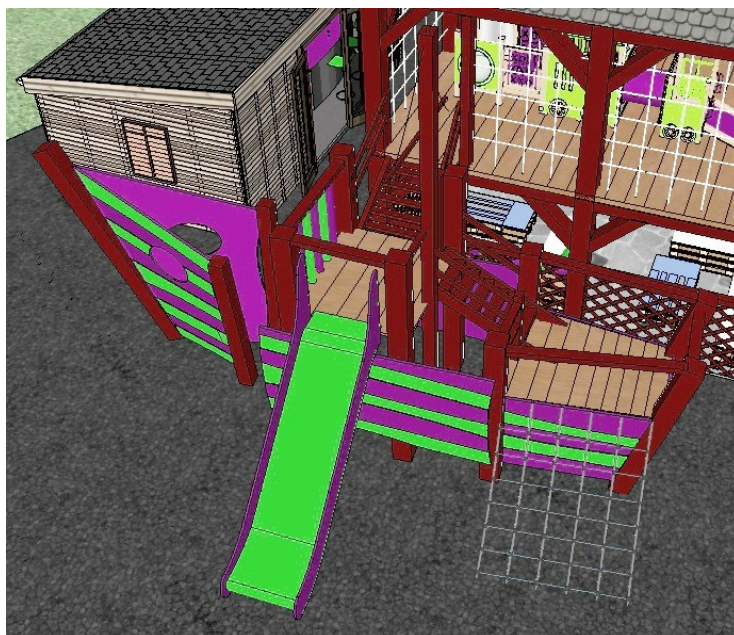
Posouzení na vzpěr:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$0,515 \leq 1$$

VYHOVUJE

9.7 Lod'



Obrázek 102 – Sestava Lod'

9.7.1 Prkna

Prkna jsou zatížena pouze dětmi a vlastní tíhou.

Zatížení od dětí

Maximální počet dětí dle kapitoly 8.1:

$$n = \frac{A_{pr}}{0,36} = \frac{1,8 \cdot 1,5}{0,36} = 7,5 \Rightarrow 8 \text{ dětí}$$

Výpočet váhy dětí a celkové síly dle kapitoly 8.1:

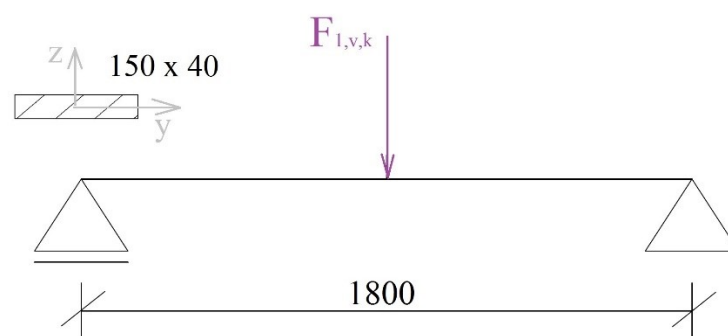
$$G_n = 8 \cdot 53,8 + 1,64 \cdot 9,6 \cdot \sqrt{8} = 474,931 \text{ kg}$$

$$C_{dyn} = 1 + \frac{1}{8} = 1,125$$

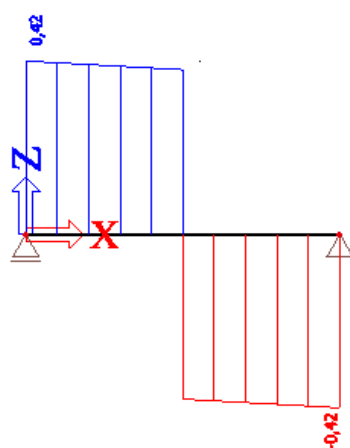
$$F_{tot,v,k} = 10 \cdot 474,931 \cdot 1,125 = 5,343 \text{ kN}$$

Navrhovaná šířka jednoho prkna je 150 mm a na celou plošinu se těchto prken vejde 10.
Zatížení od dětí na jedno prkno je poděleno počtem prken.

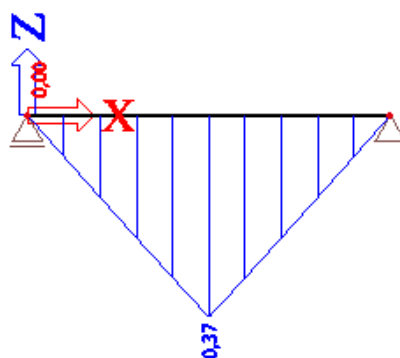
$$F_{1,v,k} = \frac{5,343}{10} = 0,534 \text{ kN}$$



Obrázek 103 – Statické schéma prken



Obrázek 104 – Průběh posouvajících sil



Obrázek 105 – Průběh ohybových momentů

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 0,42 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 0,37 \text{ kNm}$$

Posouzení průřezu na smyk

Maximální smykové napětí:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,15 = 0,101 \text{ m}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,101 \cdot 0,04 = 0,00402 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 0,42 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,00402} = 0,157 \text{ MPa}$$

Posouzení na smyk:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$0,116 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu na klopení

Kritické napětí pro celistvý obdélníkový průřez z jehličnatého dřeva:

$$l_{ef} = 0,8 \cdot 1,8 = 1,440 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,15^2}{0,04 \cdot 1,440} \cdot 7400 \cdot 10^3 = 2254,688 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{2254,688}} = 0,103$$

Maximální normálové napětí za ohybu:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,15 \cdot 0,04^2 = 4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{0,37 \cdot 10^3}{4 \cdot 10^{-5}} = 9,25 \text{ MPa}$$

Posouzení na klopení:

$$k_{crit} = 1 \quad \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,716 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.7.2 Trámy

Trámy jsou zatíženy dětmi, prkny, schůdky, které vedou na druhou plošinu a dětmi na schůdkách.

Zatížení od dětí na plošině

Z předchozího výpočtu vyšlo zatížení dětí na plošině $F_{tot,v,k} = 5,434 \text{ kN}$. To je dále přepočítáno, že každý trám přenesl $\frac{1}{4}$ celkového zatížení dětí a přepočítáno na zatížení spojitě.

$$q_k = \frac{1}{4} \cdot \frac{5,434}{2} = 0,679 \text{ kN/m}$$

Zatížení od prken

$$g_{k,p} = 3,5 \cdot 0,9 \cdot 0,04 = 0,126 \text{ kN/m}$$

Zatížení od dětí na schůdkách

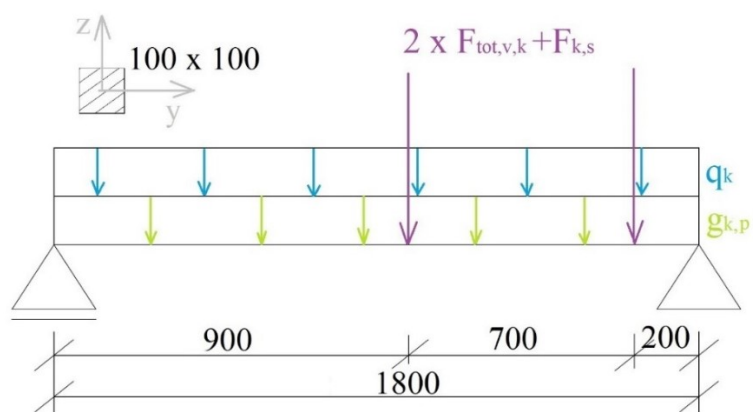
Celkové zatížení dětmi na schůdkách je $F_{tot,v,k} = 4,78 \text{ kN}$ a proto je uvažováno, že polovina tíhy se přenesl na horní plošinu sestavy a druhá polovina na dolní plošinu sestavy a ta se rozloží do dvou sil. Proto je zatížení od dětí na schůdkách uvažováno takto:

$$F_{tot,v,k} = \frac{4,78}{4} = 1,195 \text{ kN}$$

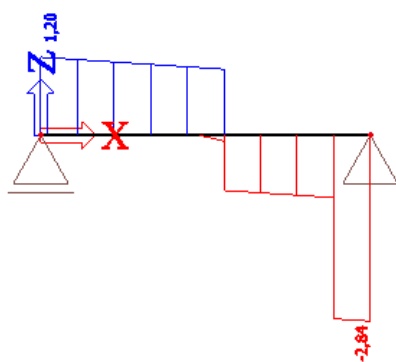
Zatížení od schůdků

Je uvažováno, že vlastní tíha schůdků je přibližně 20 kg/m^2 . Schody mají půdorysné rozměry $1,5 \times 0,7 \text{ m}$. Opět je uvažováno, že polovina tíhy se přenesl na horní plošinu sestavy a druhá polovina na dolní plošinu sestavy.

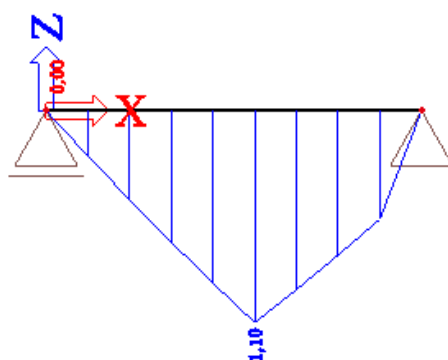
$$F_{k,s} = \frac{0,2 \cdot 1,5 \cdot 0,7}{4} = 0,053 \text{ kN}$$



Obrázek 106 – Statické schéma trámů



Obrázek 107 – Průběh posouvajících sil



Obrázek 108 – Průběh ohybových momentů

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = -2,84 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 1,1 \text{ kNm}$$

Posouzení průřezu na smyk

Maximální smykové napětí:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,1 = 0,067 \text{ m}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,067 \cdot 0,1 = 0,0067 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot |V_{Ed}|}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 2,84 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,0067} = 0,636 \text{ MPa}$$

Posouzení na smyk:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$0,472 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu na klopení

Kritické napětí pro celistvý obdélníkový průřez z jehličnatého dřeva:

$$l_{ef} = 0,9 \cdot 1,8 = 1,62 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,1^2}{0,1 \cdot 1,62} \cdot 7400 \cdot 10^3 = 356,296 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{356,296}} = 0,26$$

Maximální normálové napětí za ohybu:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,1 \cdot 0,1^2 = 0,000167 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{1,1 \cdot 10^3}{0,000167} = 6,6 \text{ MPa}$$

Posouzení na klopení:

$$k_{crit} = 1 \quad \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,511 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.7.3 Sloupy

Sloup je zatížen dětmi, které se mohou nacházet na plošině, prkny, trámy. Dále pak schůdky a dětmi, které se na nich mohou vyskytovat.

Zatížení od dětí na plošině

Z výpočtu dětí na plošině vyšlo $F_{tot,v,k} = 5,434 \text{ kN}$. To je dále přepočítáno, že každý sloup přenesení $\frac{1}{4}$ celkového zatížení dětí.

$$F_{1,v,k} = \frac{5,434}{4} = 1,359 \text{ kN}$$

Zatížení od prken

$$F_{k,p} = 3,5 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 0,04 = 0,126 \text{ kN}$$

Zatížení od trámů

Zatížení od trámů je bráno, že každý sloup přenesení jeden trám, proto je vybrán ten nejdelší.

$$F_{k,tr} = 3,5 \cdot 0,1 \cdot 0,1 \cdot 2 = 0,07 \text{ kN}$$

Zatížení od dětí na 2 schůdkách

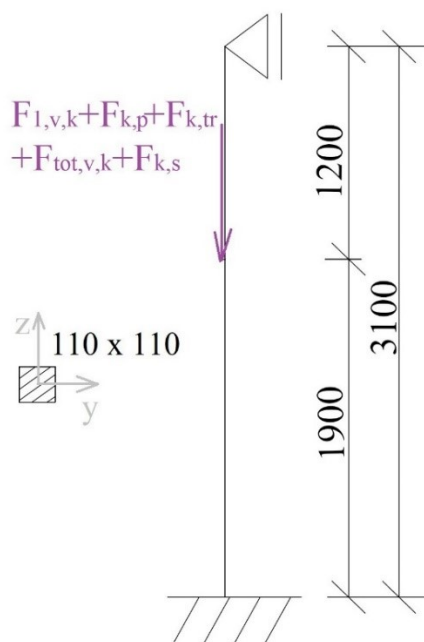
Na horní plošinu vedou dvoje schůdky. Jedny spojují spodní plošinu s horní na sestavě Loď a druhé spojují sestavu Loď s altánem, proto je počítáno, že každý sloup přenesení $\frac{1}{4}$ poloviny dětí na obou schůdkách. Celkové zatížení dětmi na schůdkách je $F_{tot,v,k} = 4,78 \text{ kN}$.

$$F_{tot,v,k} = \frac{1}{2} \cdot \frac{4,78 \cdot 2}{4} = 1,195 \text{ kN}$$

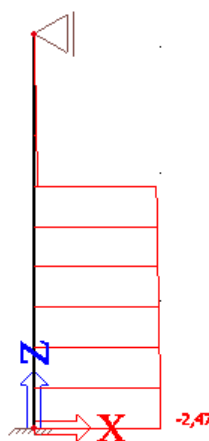
Zatížení od schůdků

Je uvažováno, že vlastní tíha schůdků je přibližně 20 kg/m^2 . Schůdky mají půdorysné rozměry $1,5 \times 0,7 \text{ m}$ a druhé mají $1,2 \times 0,8 \text{ m}$.

$$F_{k,s} = \frac{1}{2} \cdot \frac{0,2 \cdot 0,7 \cdot 1,5}{4} + \frac{1}{2} \cdot \frac{0,2 \cdot 0,8 \cdot 1,2}{4} = 0,0503 \text{ kN}$$



Obrázek 109 – Statické schéma sloupů



Obrázek 110 – Průběh normálových sil

Vnitřní síly:

$$N_{Ed} = -2,47 \text{ kN}$$

Posouzení průřezu na vzpěr

Výpočet součinitele vzpěrnosti:

Vzpěrná délka l_{cr} je u tohoto typu uložení 0,7 násobek skutečné délky nosníku dle Eulerových vztahů.

$$A = b \cdot h = 0,11 \cdot 0,11 = 0,0121 \text{ m}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,11 \cdot 0,11^3 = 1,22 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1,22 \cdot 10^{-5}}{0,0121}} = 0,032 \text{ m}$$

$$l_{cr} = 0,7 \cdot l = 0,7 \cdot 3,1 = 2,17 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_{cr}}{i_y} = \frac{2,17}{0,032} = 68,337$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{68,337}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,159$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,159 - 0,3) + 1,159^2] = 1,257$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{1,257 + \sqrt{1,257^2 - 1,159^2}} = 0,573$$

Maximální normálové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N_{Ed}|}{A} = \frac{2,47 \cdot 10^3}{0,0121} = 0,204 \text{ MPa}$$

Posouzení na vzpěr:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$0,032 \leq 1$$

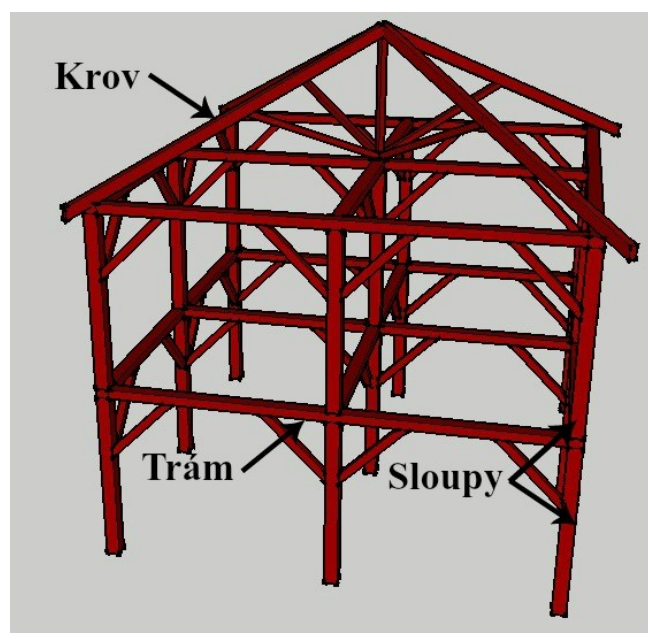
VYHOVUJE

9.8 Altán

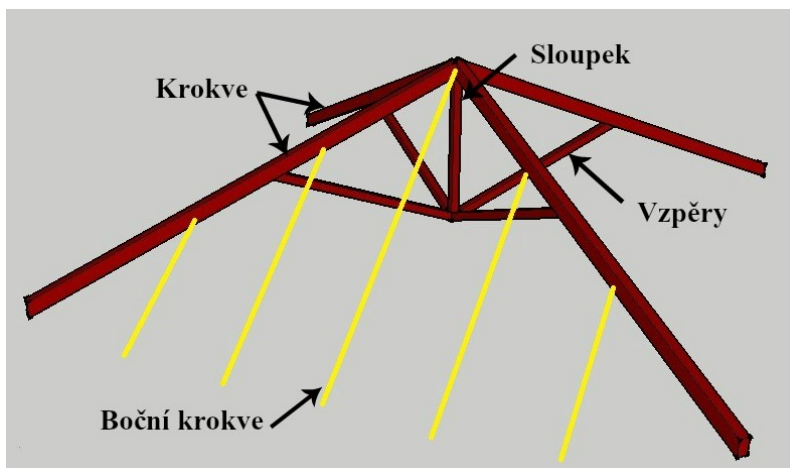


Obrázek 111 - Altán

Celý altán je tvořen sloupy přes jedno patro, průběžnými trámy a krovem. Krov je složen z krokví, bočních krokví, sloupku a vzpěr.



Obrázek 112 – Skelet celého altánu



Obrázek 113 – Skelet krovu

9.8.1 Krov – krokve

Zatížení krovu je uvažováno stálé mezi které patří asfaltový střešní šindel, latě, vlastní tíha krokví a boční krokve. Užité zatížení je $0,75 \text{ kN/m}^2$ bráno jako kategorie H což jsou střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav. Dále pak zatížení sněhem a větrem. Roznášecí šířka pro všechny typy zatížení je uvažována jako $2,35 \text{ m}$, která je vypočítána tak, že je uvažováno, že čtyři hlavní krokve přenesou každá čtvrtinu střechy, proto byla spočítána plocha čtvrtiny střechy a roznášecí šířka stanovena tak, aby přenesla tu danou čtvrtinu.

Zatížení stálé

Popis zatížení	výpočet	$g_{k,s} [\text{kN/m}]$
Střešní šindel $0,09 \text{ kN/m}^2$	$0,09 \cdot 2,35 \text{ m}$	0,212
latě odhad: $Y=5 \text{ kg/m}^2$	$0,05 \cdot 2,35 \text{ m}$	0,118
Suma		0,329

Popis zatížení	výpočet	$F_{k,s} [\text{kN}]$
boční krokve 100×100	$(3,5 \cdot 0,1 \cdot 0,1 \cdot 3,754)/2$	0,066

Obrázek 114 – Tabulka stálého zatížení

Zatížení užité

$$q_k = 0,75 \cdot 2,35 = 1,763 \text{ kN/m}$$

Zatížení sněhem

Pro výpočet zatížení sněhem je uvažováno, že konstrukce bude postavena v Ostravě. Ostrava je II. sněhová oblast, proto je charakteristická hodnota zatížení sněhem $s_k = 1 \text{ kN/m}^2$.

Výpočet dle kapitoly 8.2:

$$s_{k1} = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení jedné krokve je tedy:

$$s_{k1} = 0,8 \cdot 2,35 = 1,88 \text{ kN/m}$$

Zatížení větrem

Zatížení stanoveno dle kapitoly 8.3:

$$v_b = 1 \cdot 1 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$$

$$h = 6,532 \text{ m} \Rightarrow z_e = z_i = h$$

$$z = z_e = z_i = 6,532 \text{ m} \geq z_{min} = 5 \text{ m} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,215$$

$$c_r(z) = 0,215 \cdot \ln \frac{6,532}{0,3} = 0,664$$

$$v_m(z) = 0,664 \cdot 1 \cdot 25 = 16,589 \text{ m/s}$$

$$I_v(z) = \frac{1}{1 \cdot \ln \frac{6,532}{0,3}} = 0,325$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0,325] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 16,589^2 = 0,563 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k = 0,563 \cdot (c_{pe} - c_{pi})$$

Hodnota c_{pi} je 0,2 a -0,3.

Hodnoty c_{pe} jsou brány z tabulky viz obr() pro příčný vítr i podélný vítr byly zvoleny největší hodnota pro tlak a sání.

Příčný vítr:

$$c_{pe,10} = 0,7$$

$$c_{pe,10} = -1,5$$

$$w_k = 0,563 \cdot (0,7 - 0,2) \cdot 2,35 \text{ m} = 0,661 \text{ kN/m}$$

$$w_k = 0,563 \cdot (0,7 + 0,3) \cdot 2,35 \text{ m} = 1,323 \text{ kN/m}$$

$$w_k = 0,563 \cdot (-1,5 - 0,2) \cdot 2,35 \text{ m} = -2,248 \text{ kN/m}$$

$$w_k = 0,563 \cdot (-1,5 + 0,3) \cdot 2,35 \text{ m} = -1,587 \text{ kN/m}$$

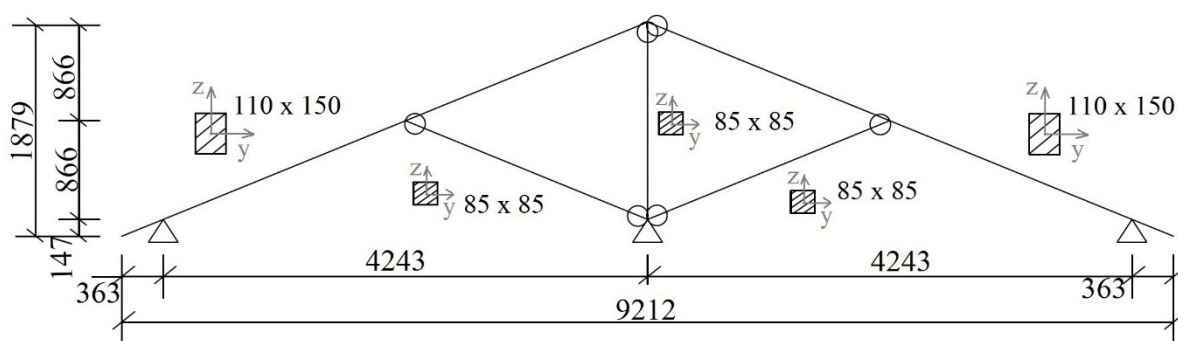
Podélný vítr

$$c_{pe,10} = -2$$

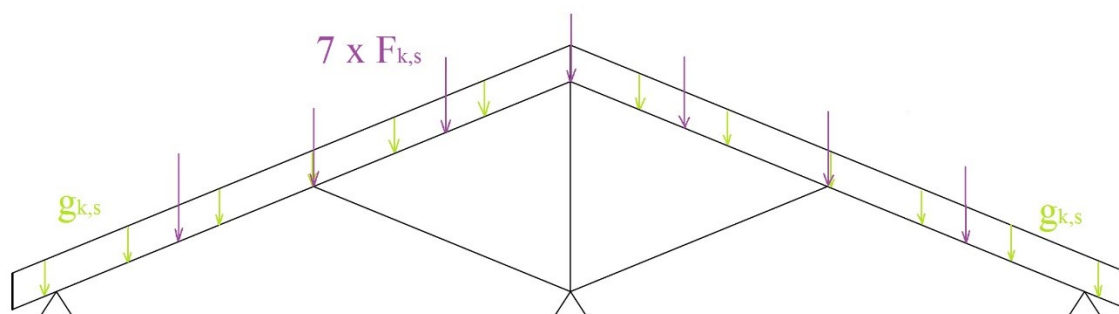
$$w_k = 0,563 \cdot (-2 - 0,2) \cdot 2,35 \text{ m} = -2,911 \text{ kN/m}$$

$$w_k = 0,563 \cdot (-2 + 0,3) \cdot 2,35 \text{ m} = -2,249 \text{ kN/m}$$

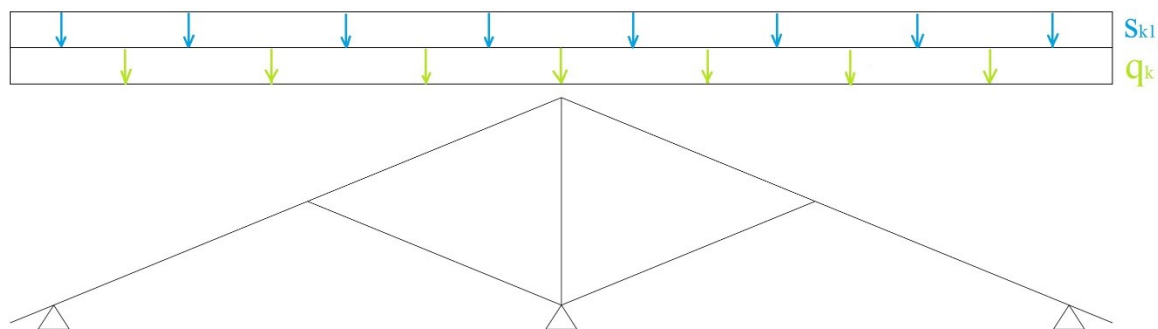
Pro zatížení větrem byly vybrány největší hodnoty a to pro tlak $w_{k,d} = 1,323 \text{ kN/m}$ a pro sání $w_{k,sa} = -2,911 \text{ kN/m}$.



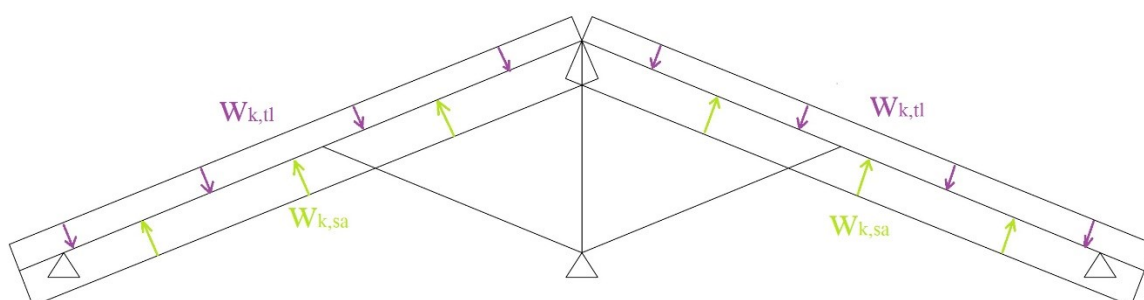
Obrázek 115 – Statické schéma krovu



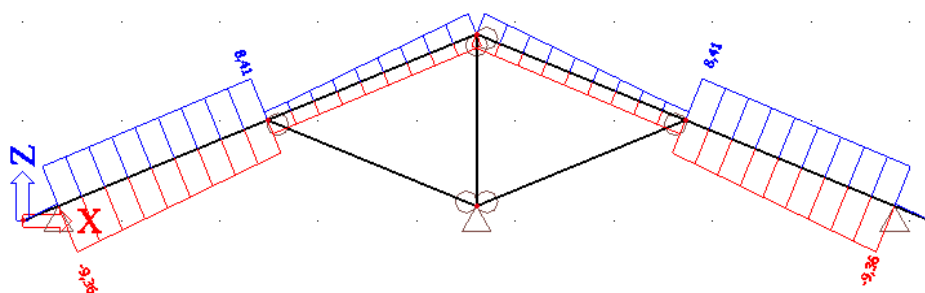
Obrázek 116 – Zatížení stálé



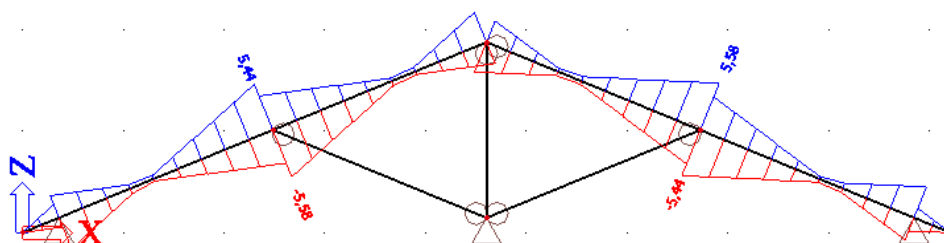
Obrázek 117 – Zatížení užitné a zatížení sněhem



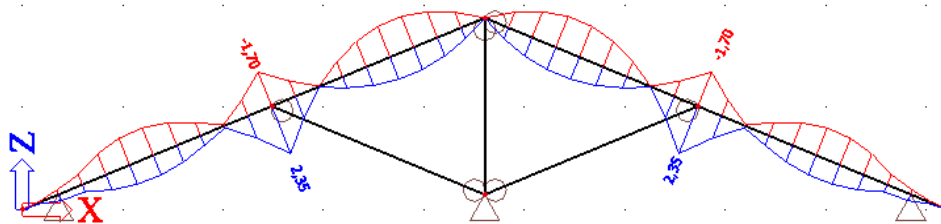
Obrázek 118 – Zatížení větrem



Obrázek 119 – Průběh normálových sil na krokách



Obrázek 120 – Průběh posouvajících sil na krokách



Obrázek 121 – Průběh ohybových momentů na krokvích

Vnitřní síly:

$$N_{Ed,+} = 8,41 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,-} = -9,36 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 5,58 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 2,35 \text{ kNm}$$

Posouzení krokve na tah rovnoběžně s vlákny

Maximální normálové napětí v tahu rovnoběžně s vlákny:

$$A = b \cdot h = 0,11 \cdot 0,15 = 0,0165 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed+}}{A} = \frac{8,41 \cdot 10^3}{0,0165} = 0,51 \text{ MPa}$$

Posouzení na tlak rovnoběžně s vlákny:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

$$0,068 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení krokve na tlak a ohyb

Maximální normálové napětí za ohybu:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,11 \cdot 0,15^2 = 0,000413 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{2,35 \cdot 10^3}{0,000413} = 5,697 \text{ MPa}$$

$$k_m = 0,7 \quad \text{pro obdelníkový průřez}$$

Výpočet součinitele vzpěrnosti:

Vzpěrná délka l_{cr} se u tohoto typu uložení rovná skutečné délce nosníku dle Eulerových vztahů.

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,11 \cdot 0,15^3 = 3,094 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$A = b \cdot h = 0,11 \cdot 0,15 = 0,0165 \text{ m}^2$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{3,094 \cdot 10^{-5}}{0,0165}} = 0,043 \text{ m}$$

$$l_{cr} = l = 4,583 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_{cr}}{i_y} = \frac{4,583}{0,043} = 105,84$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{105,84}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,795$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,795 - 0,3) + 1,795^2] = 2,26$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{2,26 + \sqrt{2,26^2 - 1,795^2}} = 0,275$$

Maximální normálové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N_{Ed}|}{A} = \frac{9,36 \cdot 10^3}{0,0165} = 0,567 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,623 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,491 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení krokve na tlak a ohyb v místě osedlání

Prut bude posouzení na kombinace ohybového momentu s prostým tlakem v místě osedlání na trámy, kde je prut oslaben. Zářez v místě osedlání oslabí krokv o cca 30 mm.

Excentricita normálové síly vzhledem k posunutému těžišti oslabeného prutu je $e=15\text{mm}$.

Maximální normálové napětí za ohybu:

$$W_{y,osl} = \frac{1}{6} \cdot b \cdot (h - 0,03)^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,11 \cdot (0,15 - 0,03)^2 = 0,000264 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{|M_{Ed}| + |N_{Ed-}| \cdot e}{W_{y,osl}} = \frac{2,35 \cdot 10^3 + 9,36 \cdot 10^3 \cdot 0,015}{0,000264} = 8,902 \text{ MPa}$$

Maximální normálové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$A_{osl} = b \cdot (h - 0,03) = 0,11 \cdot (0,15 - 0,03) = 0,0132 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N_{Ed-}|}{A_{osl}} = \frac{9,36 \cdot 10^3}{0,0132} = 0,709 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,752 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu na smyk

Maximální smykové napětí:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,11 = 0,0737 \text{ m}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,0737 \cdot 0,15 = 0,011 \text{ m}^2$$

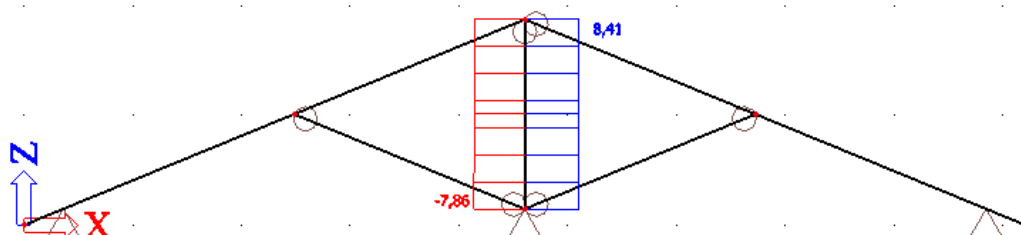
$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 5,58 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,011} = 0,757 \text{ MPa}$$

Posouzení na smyk:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$0,562 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.8.2 Krov - sloupek



Obrázek 122 – Průběh normálových sil na sloupku

Vnitřní síly:

$$N_{Ed,+} = 8,41 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,-} = -7,86 \text{ kN}$$

Posouzení sloupu na tah rovnoběžně s vlákny

Maximální normálové napětí v tahu rovnoběžně s vlákny:

$$A = b \cdot h = 0,085 \cdot 0,085 = 0,0072 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed+}}{A} = \frac{8,41 \cdot 10^3}{0,0072} = 1,164 \text{ MPa}$$

Posouzení na tlak rovnoběžně s vlákny:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

$$0,154 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu na vzpěr

Výpočet součinitele vzpěrnosti:

Vzpěrná délka l_{cr} se u tohoto typu uložení rovná skutečné délce nosníku dle Eulerových vztahů.

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,085 \cdot 0,085^3 = 4,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{4,35 \cdot 10^{-6}}{0,0072}} = 0,025 \text{ m}$$

$$l_{cr} = l = 1,732 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_{cr}}{i_y} = \frac{1,732}{0,025} = 70,586$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{70,586}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,197$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,197 - 0,3) + 1,197^2] = 1,306$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{1,306 + \sqrt{1,306^2 - 1,197^2}} = 0,547$$

Maximální normálové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N_{Ed}|}{A} = \frac{7,86 \cdot 10^3}{0,0072} = 1,088 \text{ MPa}$$

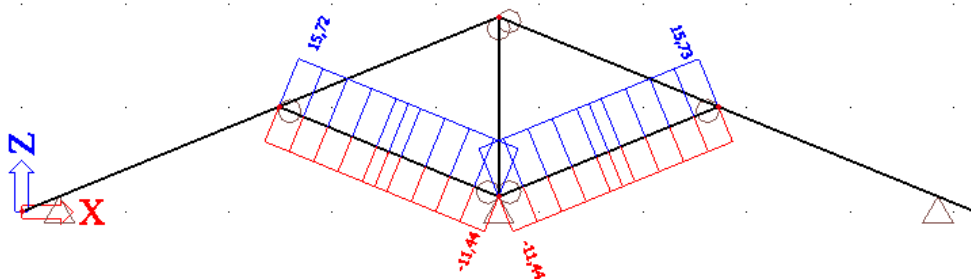
Posouzení na vzpěr:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$0,282 \leq 1$$

VYHOVUJE

9.8.3 Krov - vzpěry



Obrázek 123 – Průběh normálových sil na vzpěrách

Vnitřní síly:

$$N_{Ed,+} = 15,72 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,-} = -11,44 \text{ kN}$$

Posouzení sloupu na tah rovnoběžně s vlákny

Maximální normálové napětí v tahu rovnoběžně s vlákny:

$$A = b \cdot h = 0,085 \cdot 0,085 = 0,0072 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed+}}{A} = \frac{15,72 \cdot 10^3}{0,0072} = 2,177 \text{ MPa}$$

Posouzení na tlak rovnoběžně s vlákny:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

$$0,289 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu na vzpěr

Výpočet součinitele vzpěrnosti:

Vzpěrná délka l_{cr} se u tohoto typu uložení rovná skutečné délce nosníku dle Eulerových vztahů.

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,085 \cdot 0,085^3 = 4,35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{4,35 \cdot 10^{-6}}{0,0072}} = 0,025 \text{ m}$$

$$l_{cr} = l = 2,292 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_{cr}}{i_y} = \frac{2,292}{0,025} = 93,408$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{93,408}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,584$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,584 - 0,3) + 1,584^2] = 1,883$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{1,883 + \sqrt{1,883^2 - 1,584^2}} = 0,345$$

Maximální normálové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N_{Ed}|}{A} = \frac{11,44 \cdot 10^3}{0,0072} = 1,583 \text{ MPa}$$

Posouzení na vzpěr:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$0,838 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.8.4 Fošny

Zatížení fošen je uvažováno dětmi a vlastní tíhou.

Zatížení od dětí

Maximální počet dětí:

$$n = \frac{L_{pr}}{0,6} = \frac{6}{0,6} = 10 \text{ dětí}$$

Výpočet váhy dětí a celkové síly dle 0:

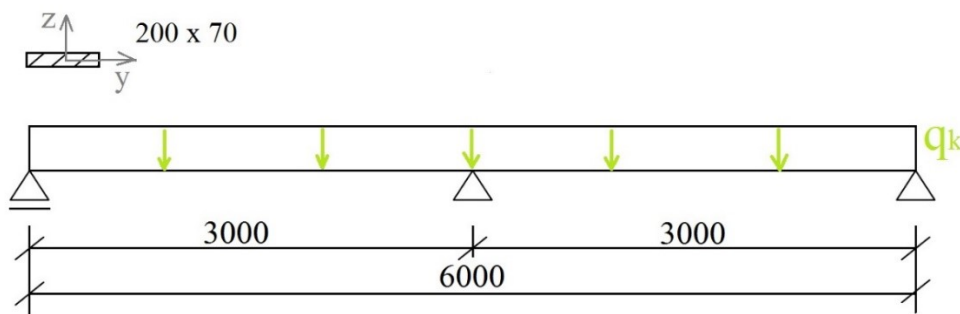
$$G_n = 10 \cdot 53,8 + 1,64 \cdot 9,6 \cdot \sqrt{10} = 587,787 \text{ kg}$$

$$C_{dyn} = 1 + \frac{1}{10} = 1,1$$

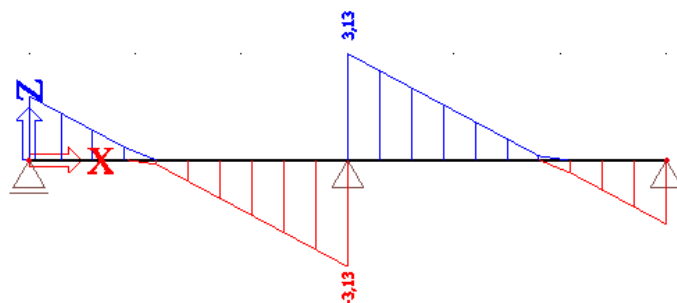
$$F_{tot,v,k} = 10 \cdot 587,787 \cdot 1,1 = 6,466 \text{ kN}$$

Přepočet síly na spojitě zatížení.

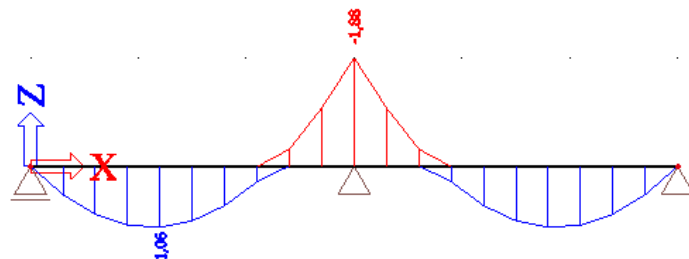
$$q_k = \frac{6,466}{6} = 1,078 \text{ kN/m}$$



Obrázek 124 – Statické schéma fošen



Obrázek 125 – Průběh posouvajících sil



Obrázek 126 – Průběh ohybových momentů

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 3,13 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = -1,88 \text{ kNm}$$

Posouzení průřezu na smyk

Maximální smykové napětí:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,2 = 0,134 \text{ m}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,134 \cdot 0,07 = 0,0094 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 3,13 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,0094} = 0,501 \text{ MPa}$$

Posouzení na smyk:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$0,372 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu na klopení

Kritické napětí pro celistvý obdélníkový průřez z jehličnatého dřeva:

$$l_{ef} = 0,8 \cdot 3 = 2,4 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,2^2}{0,07 \cdot 2,4} \cdot 7400 \cdot 10^3 = 1374,286 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{1374,286}} = 0,132$$

Maximální normálové napětí za ohybu:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,2 \cdot 0,07^2 = 0,000163 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{|M_{Ed}|}{W_y} = \frac{1,88 \cdot 10^3}{0,000163} = 11,51 \text{ MPa}$$

Posouzení na klopení:

$$k_{crit} = 1 \quad \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,891 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.8.5 Trámy

Zatížení od fošen

$$g_{k,f} = 3,5 \cdot 3 \cdot 0,07 = 0,735 \text{ kN/m}$$

Zatížení od dětí

Jelikož jsou trámy stejné délky jako fošny je zatížení dětí stejné hodnoty $q_k=1,078 \text{ kN/m}$.

Zatížení od sloupů

Trámy jsou také přitíženy od sloupů z horního patra altánu.

$$F_{k,s} = 3,5 \cdot 0,17 \cdot 0,17 \cdot 2,3 = 0,233 \text{ kN}$$

Zatížení od střechy

Od asfaltového šindele:

Tíha vynásobená čtyřikrát plochou čtvrtiny střechy.

$$0,09 \cdot (4 \cdot 12,251) = 4,41 \text{ kN}$$

Od krokví:

$$4 \cdot 3,5 \cdot 0,15 \cdot 0,11 \cdot 4,975 = 1,149 \text{ kN}$$

Od střešních latí:

$$0,05 \cdot (4 \cdot 12,251) = 2,45 \text{ kN}$$

Od bočních krokví:

$$20 \cdot 3,5 \cdot 0,1 \cdot 0,1 \cdot 1,877 = 1,314 \text{ kN}$$

Od sloupku:

$$3,5 \cdot 0,085 \cdot 0,085 \cdot 1,732 = 0,044 \text{ kN}$$

Od vzpěrek:

$$4 \cdot 3,5 \cdot 0,085 \cdot 0,085 \cdot 2,292 = 0,232 \text{ kN}$$

Součet všech těchto zatížení je poděleno devíti což je počet sloupů do kterých se toto zatížení roznese.

$$F_{k,str} = \frac{9,599}{9} = 1,067 \text{ kN}$$

Zatížení sněhem

$$s_{k1} = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

$$F_{k,sn} = \frac{0,8 \cdot 6 \cdot 6}{9} = 3,2 \text{ kN}$$

Zatížení od horních trámů

$$F_{k,tr} = 3,5 \cdot 0,17 \cdot 0,12 \cdot 6 = 0,428 \text{ kN}$$

Zatížení od dětí na schůdkách

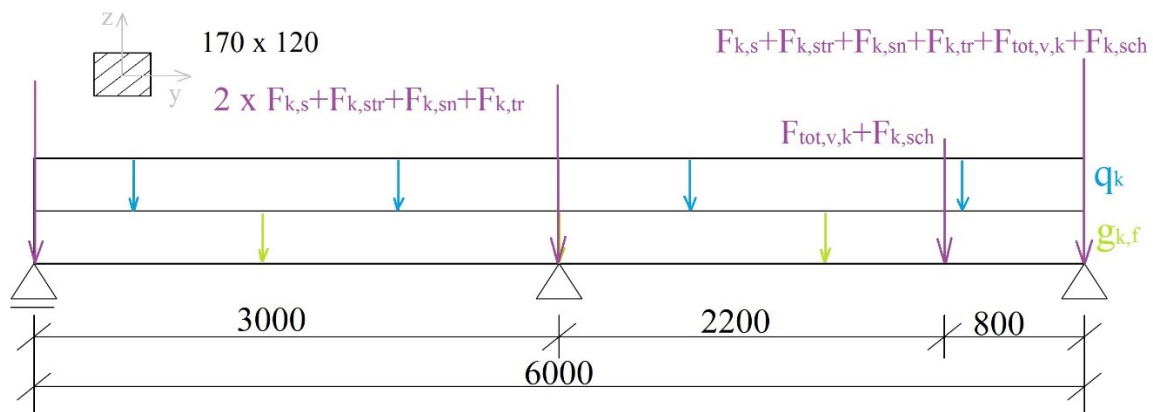
Celkové zatížení dětmi na schůdkách je $F_{tot,v,k} = 4,78 \text{ kN}$ a proto je uvažováno, že polovina tíhy se přenese na horní plošinu sestavy a druhá polovina na altán a ta se rozloží do dvou sil. Proto je zatížení od dětí na schůdkách uvažováno takto:

$$F_{tot,v,k} = \frac{4,78}{4} = 1,195 \text{ kN}$$

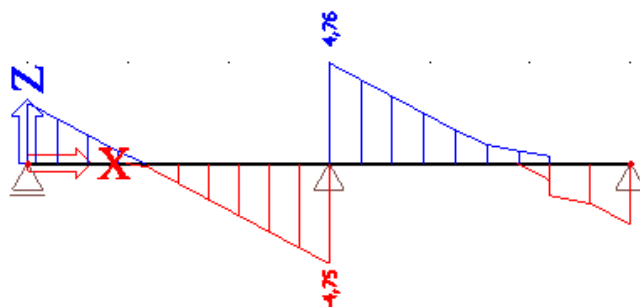
Zatížení od schůdků

Je uvažováno, že vlastní tíha schůdků je přibližně 20 kg/m^2 . Schody mají půdorysné rozměry $1,2 \times 0,8 \text{ m}$. Opět je uvažováno, že polovina tíhy se přenese na horní plošinu sestavy a druhá polovina na altán.

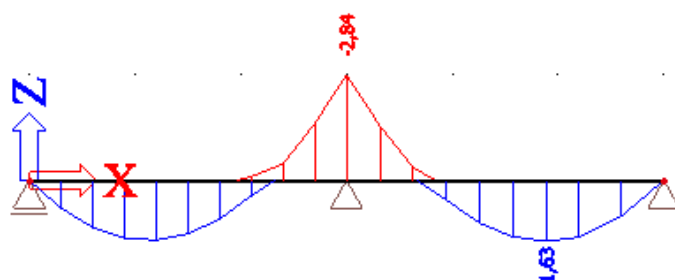
$$F_{k,sch} = \frac{0,2 \cdot 1,2 \cdot 0,8}{4} = 0,048 \text{ kN}$$



Obrázek 127 – Statické schéma trámů



Obrázek 128 – Průběh posouvajících sil



Obrázek 129 – Průběh ohybových momentů

Vnitřní síly:

$$V_{Ed} = 4,76 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = -2,84 \text{ kNm}$$

Posouzení průřezu na smyk

Maximální smykové napětí:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,17 = 0,114 \text{ m}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,114 \cdot 0,12 = 0,014 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 4,76 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,014} = 0,522 \text{ MPa}$$

Posouzení na smyk:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$0,388 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu na klopení

Kritické napětí pro celistvý obdélníkový průřez z jehličnatého dřeva:

$$l_{ef} = 0,9 \cdot 3 = 2,7 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 0,17^2}{0,12 \cdot 2,7} \cdot 7400 \cdot 10^3 = 514,848 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{514,848}} = 0,216$$

Maximální normálové napětí za ohybu:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,17 \cdot 0,12^2 = 0,000408 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{|M_{Ed}|}{W_y} = \frac{2,84 \cdot 10^3}{0,000408} = 6,961 \text{ MPa}$$

Posouzení na klopení:

$$k_{crit} = 1 \quad \text{pro } \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

$$0,539 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.8.6 Sloupy

Zatížení od fošen

$$F_{k,f} = 3,5 \cdot 4 \cdot 0,07 = 0,98 \text{ kN}$$

Zatížení od dětí

Výpočet dětí na celé plošině a výpočet hmotnosti dětí, která je převedena na sílu a rozpočítána do jednotlivých sloupů.

$$n = \frac{A_{pr}}{0,36} = \frac{6 \cdot 6}{0,36} = 100 \text{ dětí}$$

$$G_n = 100 \cdot 53,8 + 1,64 \cdot 9,6 \cdot \sqrt{100} = 5537,44 \text{ kg}$$

$$C_{dyn} = 1 + \frac{1}{100} = 1,01$$

$$F_{tot,v,k} = 10 \cdot 1,01 \cdot 5537,44 = 55,928 \text{ kN}$$

Zatížení jednoho sloupu:

$$F_{1,v,k} = \frac{55,928}{9} = 6,214 \text{ kN}$$

Zatížení od trámů

$$F_{k,tr} = 2 \cdot 3,5 \cdot 0,17 \cdot 0,12 \cdot 6 = 0,857 \text{ kN}$$

Zatížení od sloupů

Spodní sloupy jsou také přitíženy od sloupů z horního patra altánu.

$$F_{k,s} = 3,5 \cdot 0,17 \cdot 0,17 \cdot 2,3 = 0,233 \text{ kN}$$

Zatížení od střechy

Zatížení od střechy z předešlého výpočtu.

$$F_{k,str} = 1,067 \text{ kN}$$

Zatížení sněhem

Zatížení sněhem je také stejné jako u trámů.

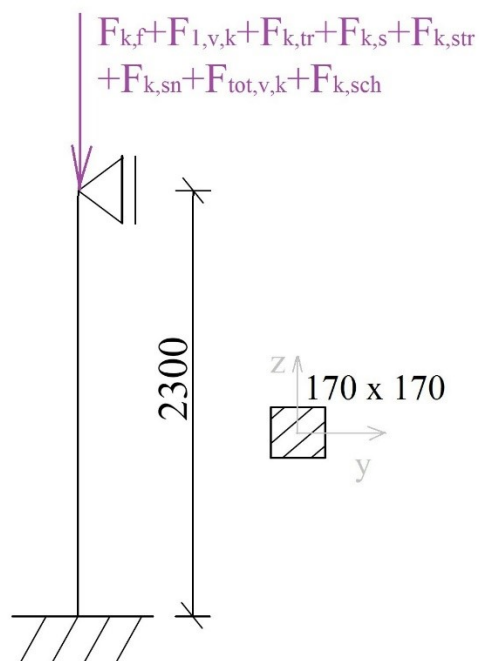
$$F_{k,sn} = 3,2 \text{ kN}$$

Zatížení od dětí na schůdkách

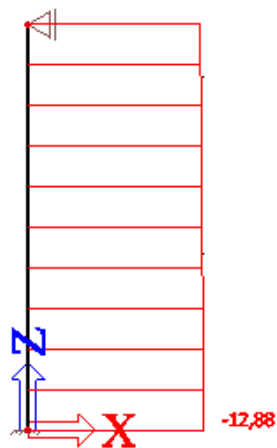
$$F_{tot,v,k} = 1,195 \text{ kN}$$

Zatížení od schůdků

$$F_{k,sch} = 0,048 \text{ kN}$$



Obrázek 130 – Statické schéma sloupů



Obrázek 131 – Průběh normálových sil

Vnitřní síly:

$$N_{Ed} = -12,88 \text{ kN}$$

Posouzení průřezu na vzpěr

Výpočet součinitele vzpěrnosti:

Vzpěrná délka l_{cr} je u tohoto typu uložení 0,7 násobek skutečné délky nosníku dle Eulerových vztahů.

$$A = b \cdot h = 0,17 \cdot 0,17 = 0,0289 \text{ m}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,17 \cdot 0,17^3 = 6,96 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{6,96 \cdot 10^{-5}}{0,0289}} = 0,049 \text{ m}$$

$$l_{cr} = 0,7 \cdot l = 0,7 \cdot 2,3 = 1,61 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_{cr}}{i_y} = \frac{1,61}{0,049} = 32,808$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{32,808}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 0,556$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (0,556 - 0,3) + 0,556^2] = 0,68$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{0,68 + \sqrt{0,68^2 - 0,556^2}} = 0,933$$

Maximální normálové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N_{Ed}|}{A} = \frac{12,88 \cdot 10^3}{0,0289} = 0,446 \text{ MPa}$$

Posouzení na vzpěr:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$0,042 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.9 Dvoumístná houpačka



Obrázek 132 – Dvoumístná houpačka

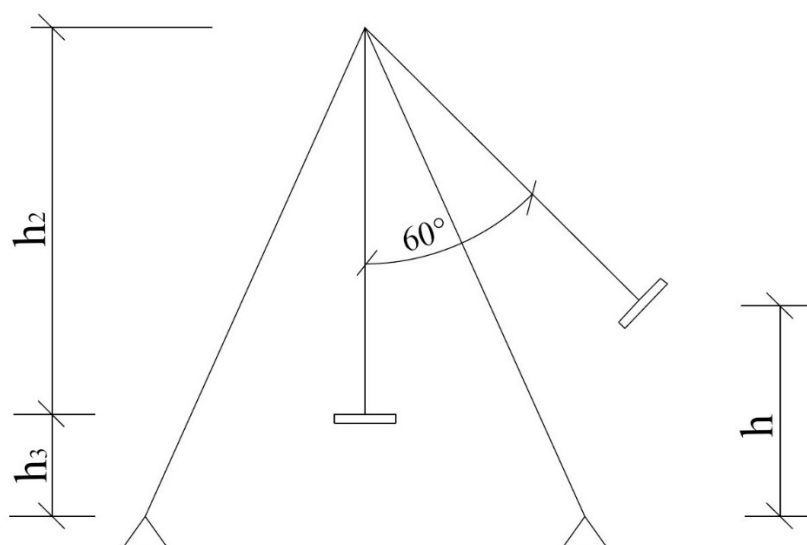
9.9.1 Bezpečnostní požadavky

- Nesmí dojít k překrytí volných prostorů a prostoru pádu.
- Při vykonávaném nuceném pohybu nesmí být ve volném prostoru žádné překážky.
- Nesmí dojít k zachycení uživatele o části sestavy ani žádné výčnělky.
- Prvky zavěšení musí mít mezi sebou vzdálenost větší nebo rovnu vzdálenosti mezi podpěrami sedačky zvětšené o 5% délky prvků zavěšení.
- Na jedné konstrukční části mohou být maximálně dvě sedadla.
- Výška volného pádu h nesmí překročit mezní hodnoty.
- Délka závěsu houpačky h_2 nesmí přesáhnout 1,8 m.
- Volný prostor v klidové poloze h_3 musí být min 350 mm.
- Dopadová plocha by měla být nejméně 1,75 m pro sestavy, kde je více sedadel upevněných na jedné ose rotace.

- Výška volného pádu h se počítá v poloze, kdy je sedadlo nakloněno o 60° od vertikální polohy.

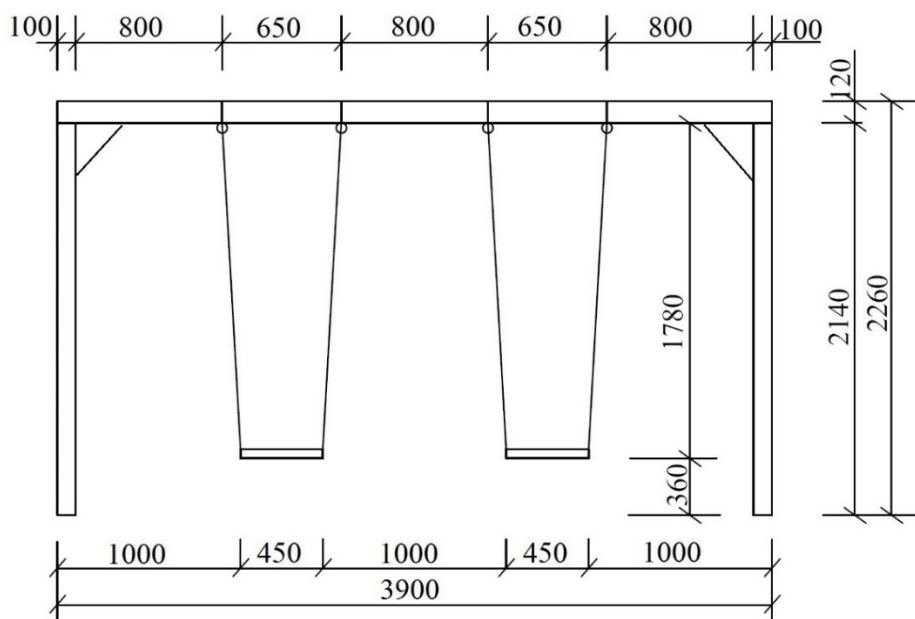
Výška volného pádu h se stanoví dle vztahu :

$$h = \frac{h_2}{2} + h_3 = \frac{1,76}{2} + 0,5 = 1,38 \text{ m} \quad (61)$$



Obrázek 133 – Schéma pro určení výšky volného pádu

9.9.2 Výpočet zatížení



Obrázek 134 – Rozměry dvoumístné houpačky

Vlastní tíha konstrukce

Vlastní tíha samotné nosné konstrukce je počítána přímo v programu Scia Engineer na základě velikosti průřezů a druhu materiálu.

Vlastní tíha kyvné sestavy je stanovena na $G_s = 6 \text{ kg}$.

Zatížení dětmi

Zatížení jednoho sedadla.

$$G_n = 1 \cdot 53,8 + 1,64 \cdot 9,6 \cdot \sqrt{1} = 69,5 \text{ kg}$$

$\alpha_{max} = 80^\circ$			
α	C_r	C_v	C_h
80°	0,174	0,030	0,171
70°	0,679	0,232	0,638
60°	1,153	0,577	0,999
50°	1,581	1,016	1,211
42,6°	1,950	1,494	1,253
30°	2,251	1,949	1,126
20°	2,472	2,323	0,845
10°	2,607	2,567	0,453
0°	2,653	2,653	0,000

Obrázek 135 – Hodnoty součinitelů C_r , C_v a C_h [3]

Výpočet v poloze $\alpha=0^\circ$

$$F_h = 0 \text{ kN} \quad (61)$$

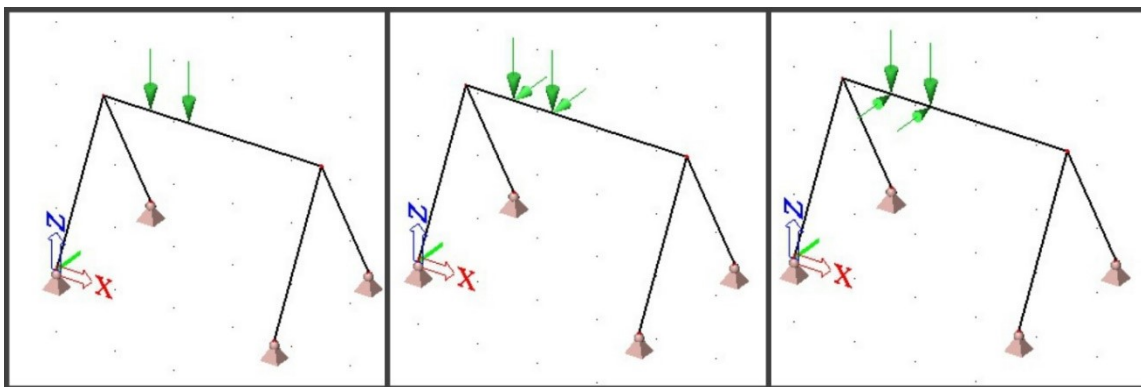
$$F_v = C_v \cdot g \cdot (G_n + G_s) = 2,653 \cdot 10 \cdot (69,5 + 6) = 2 \text{ kN} \quad (62)$$

Výpočet v poloze $\alpha=90^\circ$

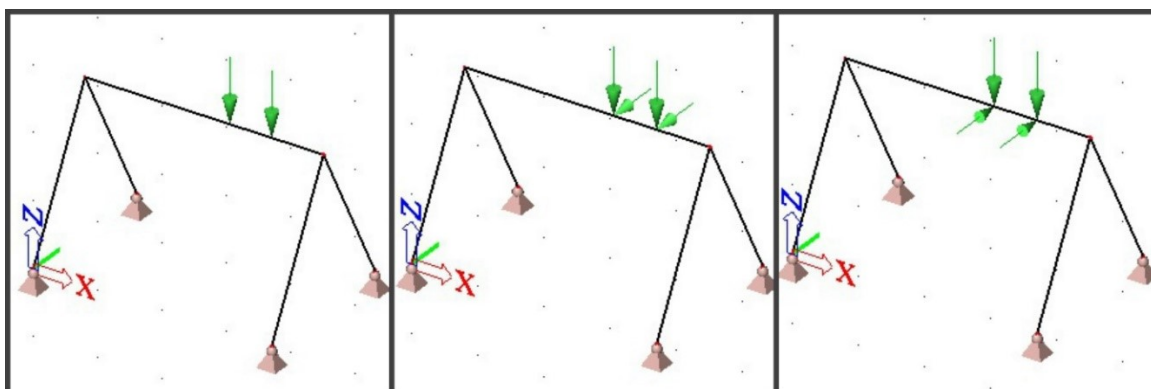
$$F_h = C_h \cdot g \cdot (G_n + G_s) = 1,494 \cdot 10 \cdot (69,5 + 6) = 1,12 \text{ kN} \quad (63)$$

$$F_v = C_v \cdot g \cdot (G_n + G_s) = 1,253 \cdot 10 \cdot (69,5 + 6) = 0,95 \text{ kN} \quad (64)$$

Byly vytvořeny zatěžovací stavy pro každé sedadlo. Byly vytvořeny jako samostatná skupina zatížení. Skupiny jsou dány jako výběrové, aby se jednotlivé stavy nekombinovaly. Zatížení je zadáno jako zatížení krátkodobé.

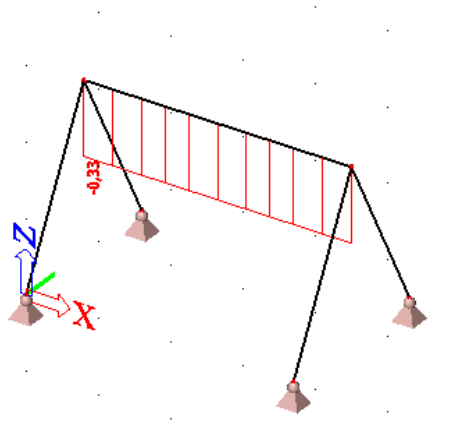


Obrázek 136 – Zatížení od první houpačky v poloze 0° , $42,6^\circ$ a $-42,6^\circ$

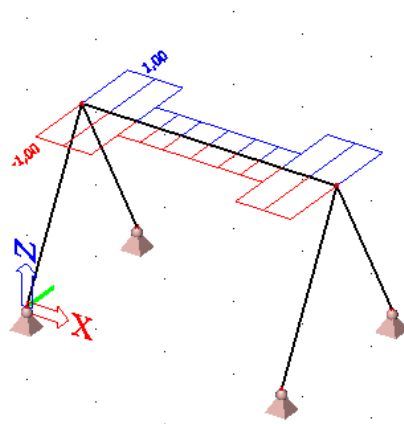


Obrázek 137 - Zatížení od druhé houpačky v poloze 0° , $42,6^\circ$ a $-42,6^\circ$

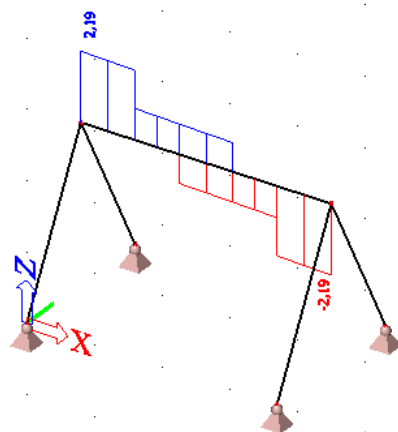
9.9.3 Horní nosník



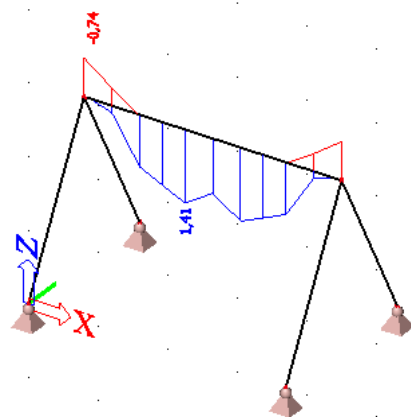
Obrázek 138 – Průběh normálových sil na horním nosníku



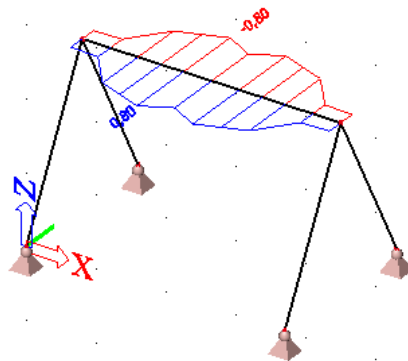
Obrázek 139 – Průběh posouvajících sil V_y



Obrázek 140 – Průběh posouvajících sil V_z



Obrázek 141 – Průběh ohybových momentů M_y



Obrázek 142 – Průběh ohybových momentů M_z

Vnitřní síly:

$$N_{Ed} = -0,33 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,y} = 1 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,z} = 2,19 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = 1,41 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,z} = 0,8 \text{ kN}$$

Posouzení na ohyb s centrickým tlakem

Maximální normálové napětí za ohybu:

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,12 \cdot 0,12^2 = 0,000288 \text{ m}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,12 \cdot 0,12^2 = 0,000288 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{m,d,y} = \frac{M_{Ed,y}}{W_y} = \frac{1,41 \cdot 10^3}{0,000288} = 4,896 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,d,z} = \frac{M_{Ed,z}}{W_z} = \frac{0,8 \cdot 10^3}{0,000288} = 2,778 \text{ MPa}$$

$$k_m = 1 \quad \text{pro jiné než obdelníkové průřezy}$$

Výpočet součinitele vzpěrnosti:

Vzpěrná délka l_{cr} se u tohoto typu uložení se rovná skutečné délce nosníku dle Eulerových vztahů.

$$I_y = I_z = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,12 \cdot 0,12^3 = 1,728 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$A = b \cdot h = 0,12 \cdot 0,12 = 0,0144 \text{ m}^2$$

$$i_y = i_z = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{1,728 \cdot 10^{-5}}{0,0144}} = 0,035 \text{ m}$$

$$l_{cr} = l = 3,9 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = \frac{l_{cr}}{i} = \frac{3,9}{0,035} = 112,583$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{112,583}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,909$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,909 - 0,3) + 1,909^2] = 2,483$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{2,483 + \sqrt{2,483^2 - 1,909^2}} = 0,246$$

Maximální normálové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N_{Ed}|}{A} = \frac{0,33 \cdot 10^3}{0,0144} = 0,023 \text{ MPa}$$

Posouzení:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,d,y}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,d,z}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad (65)$$

$$0,594 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,d,y}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,d,z}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad (66)$$

$$0,594 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení průřezu na smyk

Maximální smykové napětí:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 0,12 = 0,0804 \text{ m}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 0,0804 \cdot 0,12 = 0,0096 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d,y} = \frac{3 \cdot V_{Ed,y}}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 1 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,0096} = 0,155 \text{ MPa}$$

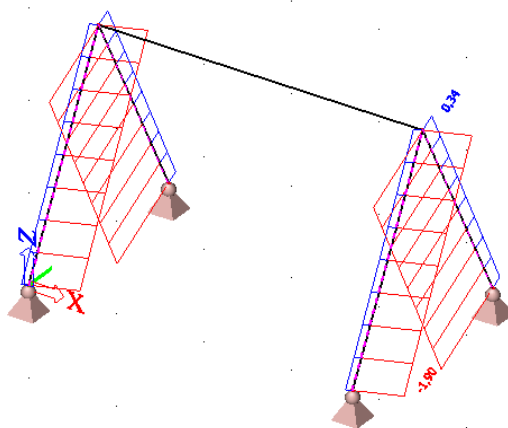
$$\tau_{v,d,z} = \frac{3 \cdot V_{Ed,z}}{2 \cdot A_{ef}} = \frac{3 \cdot 2,19 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,0096} = 0,34 \text{ MPa}$$

Posouzení na smyk:

$$\frac{\tau_{v,d,y}}{f_{v,d}} + \frac{\tau_{v,d,z}}{f_{v,d}} \leq 1 \quad (67)$$

$$0,368 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

9.9.4 Stojky



Obrázek 143 – Průběh normálových sil na stojkách

Vnitřní síly:

$$N_{Ed} = -1,9 \text{ kN}$$

Posouzení průřezu na vzpěr

Výpočet součinitele vzpěrnosti:

Vzpěrná délka l_{cr} je u tohoto typu uložení rovná skutečné délce nosníku dle Eulerových vztahů.

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,1 \cdot 0,1^3 = 8,333 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$A = b \cdot h = 0,1 \cdot 0,1 = 0,01 \text{ m}^2$$

$$i = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{8,333 \cdot 10^{-6}}{0,01}} = 0,029 \text{ m}$$

$$l_{cr} = l = 2,559 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_{cr}}{i} = \frac{2,559}{0,029} = 88,646$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{88,646}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,503$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,503 - 0,3) + 1,503^2] = 1,75$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{1,75 + \sqrt{1,75^2 - 1,503^2}} = 0,378$$

Maximální normálové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{|N_{Ed}|}{A} = \frac{1,9 \cdot 10^3}{0,01} = 0,19 \text{ MPa}$$

Posouzení na vzpěr:

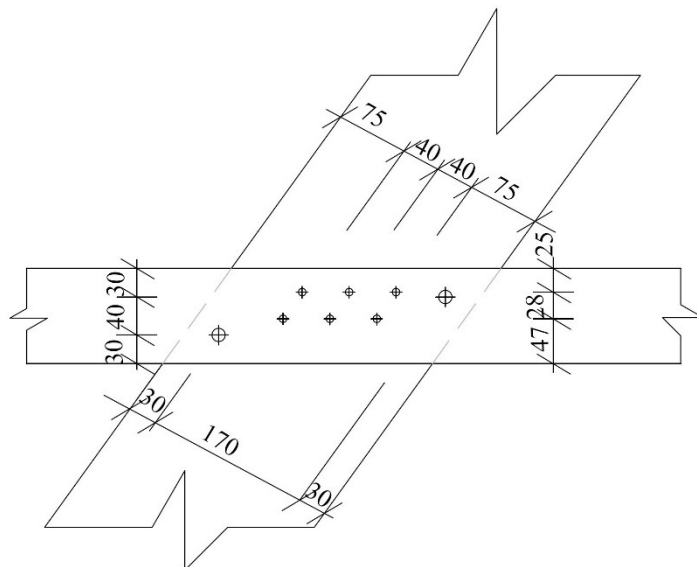
$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$0,044 \leq 1$$

VYHOVUJE

10 Výpočet vybraných spojů

10.1 Pyramida: trámy – sloup



Obrázek 144 – Spoj trámy – sloup

Dvojice trámů je pod úhlem 45° připojena ke sloupu.

Plastický moment únosnosti:

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 800 \cdot 8^{2,6} = 53,487 \text{ Nmm} \quad (68)$$

$$F_{v,Ed} = \frac{N_{Ed}}{n_s \cdot n_n^{k_{ef}} \cdot n_r} = \frac{13,68 \cdot 10^3}{2 \cdot 3^{0,7} \cdot 2} = 1,58 \text{ kN} \quad (69)$$

Kde n_s počet rovin stříhu

n_n počet hřebíků v jedné řadě

n_r počet řad hřebíků

$$f_{h,1,k} = f_{h,2,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 8) \cdot 350 = 26,404 \text{ MPa} \quad (70)$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = 1 \quad (71)$$

Střih jednoho hřebíku:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & (g) \\ 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & (h) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (j) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (k) \end{cases}$$

Kde $t_1=40$ mm, $t_2=100$ mm

g = 8,449 kN

h = 10,561 kN

i = 4,225 kN

k = 5,467 kN

$F_{v,Rk} = 4,225 \text{ kN}$

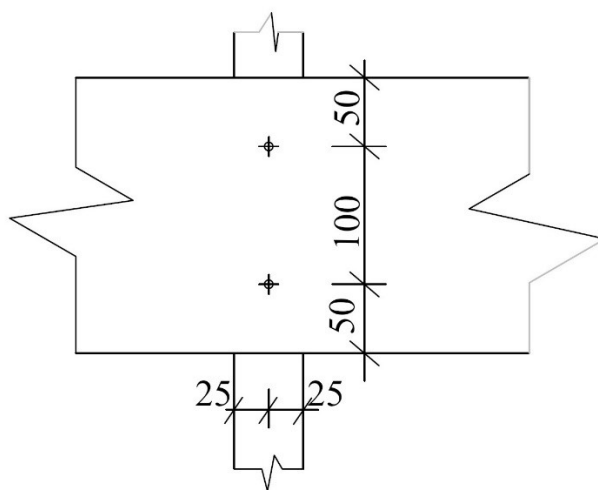
$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{4,225 \cdot 10^3 \cdot 0,7}{1,3} = 2,275 \text{ kN} \quad (72)$$

Posouzení:

$$F_{v,Ed} = 1,58 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 2,275 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Spoj je zajištěn dvěma spínacíma svorníkama průměru 12 mm.

10.2 Altán: fošny – trám



Obrázek 145 – Spoj fošny – trám

Pro připojení fošen k trámu byl vybrán spoj u altánu, jelikož vrut bude osově zatížen posouvající silou a ta je největší u altánu a to $V_{Ed} = 4,76 \text{ kN}$. Pro přípoj jsou zvoleny vruty.

$d = 6 \text{ mm}$ průměr vrutu

$l = 110 \text{ mm}$ délka vrutu

$t_1 = 70 \text{ mm}$ tloušťka fošny

$t_2 = 40 \text{ mm}$ délka vniku hrotu

$t_2 < 6 \cdot d = 36 \text{ mm}$ **VYHOVUJE**

Charakteristická únosnost na osově zatížené vruty:

$$F_{ax,Rk} = n_{ef} \cdot (\pi \cdot d \cdot l_{ef})^{0,8} \cdot f_{ax,k} \quad (73)$$

Účinný počet vrutů:

$$n_{ef} = n^{0,9} = 1,866 \quad (74)$$

Délka vniku hrotu závitové části zmenšená o jeden průměr vrutu:

$$l_{ef} = 110 - 6 = 104 \text{ mm} \quad (75)$$

Charakteristická pevnost na vtažení:

$$f_{ax,k} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_k^{1,5} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 350^{1,5} = 23,752 \text{ N} \quad (76)$$

$$F_{ax,Rk} = 1,866 \cdot (\pi \cdot 6 \cdot 104)^{0,8} \cdot 23,752 = 18,932 \text{ kN}$$

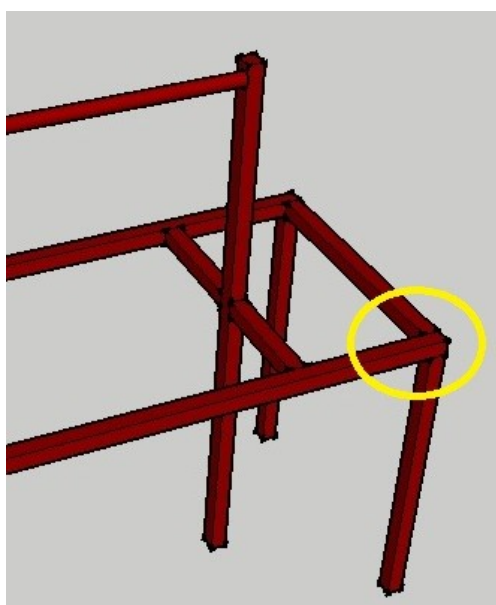
$$F_{ax,Rd} = \frac{F_{ax,Rk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{18,932 \cdot 10^3 \cdot 0,7}{1,3} = 10,194 \text{ kN} \quad (77)$$

Posouzení:

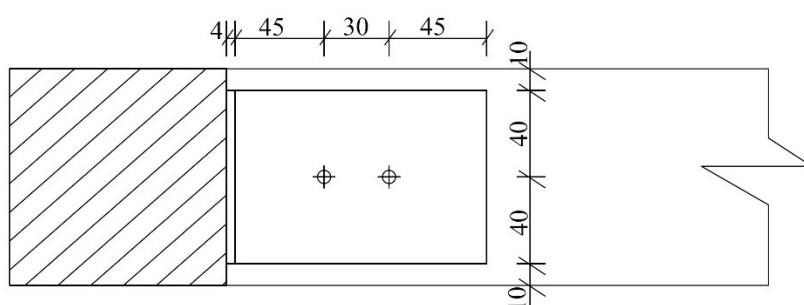
$$V_{Ed} = 4,76 \text{ kN} \leq F_{ax,Rd} = 10,194 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

10.3 Kaskáda1: trám - trám

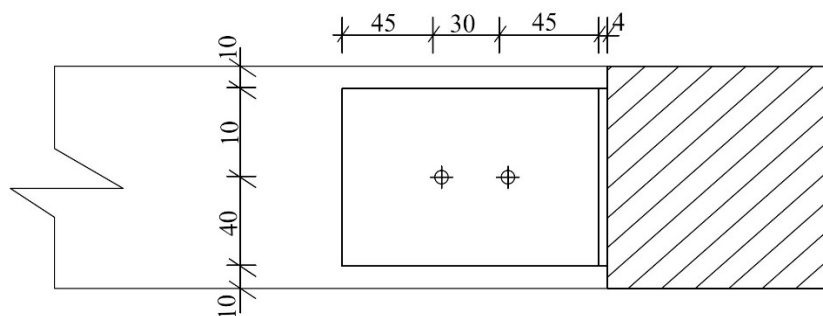
Dvojice na sebe kolmých trámů je spojena pomocí ocelové desky ve tvaru L a hřebíků.



Obrázek 146 – Detail rohu



Obrázek 147 – Spoj – pohled na jeden trám



Obrázek 148 – Spoj – pohled na druhý trám

Spoj je namáhán na smyk proto $V_{Ed} = 1,57 \text{ kN}$.

Hřebíky:

$d = 6 \text{ mm}$ průměr hřebíku

$l = 45 \text{ mm}$ délka hřebíku

$t_1 = 40 \text{ mm}$ délka vniku

Ocelová deska:

$t = 4 \text{ mm}$ tloušťka desky

$h = 60 \text{ mm}$ výška desky

$t \geq 0,5 \cdot d = 3 \Rightarrow \text{TLUSTÁ DESKA}$

Posouzení hřebíků:

Plastický moment únosnosti:

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 360 \cdot 6^{2,6} = 11392,45 \text{ Nmm}$$

Charakteristická pevnost v otlačení:

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 350 \cdot 6^{-0,3} = 16,766 \text{ N/mm}^2 \quad (78)$$

Charakteristická únosnost hřebíků a tlusté ocelové desky:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (d) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (e) \\ f_{h,k} t_1 d & (c) \end{cases}$$

$$\mathbf{d = 2,088 \text{ kN}}$$

$$\mathbf{e = 2,462 \text{ kN}}$$

$$\mathbf{c = 4,124 \text{ kN}}$$

$$F_{v,Rk} = 2,088 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{2,088 \cdot 10^3 \cdot 0,7}{1,3} = 1,125 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$F_{v,Ed} = 1,57 \text{ kN} \leq 2 \cdot F_{v,Rd} = 2,245 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Posouzení ocelové desky na smyk:

Smyková plocha:

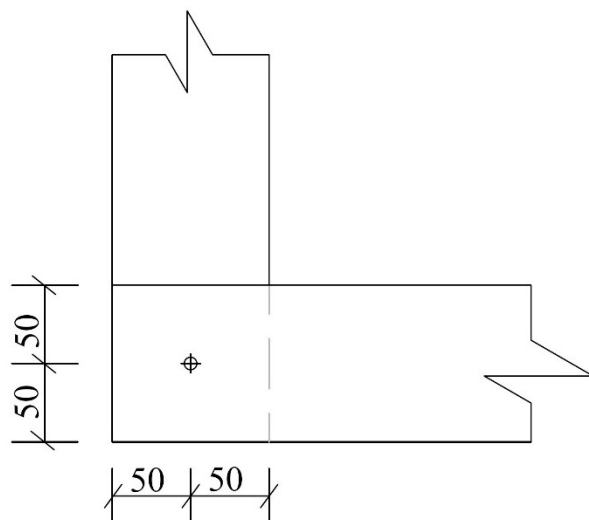
$$A_v = h \cdot t - (d + 1) \cdot t = 80 \cdot 4 - 2 \cdot (6 + 1) \cdot 4 = 0,000292 \text{ m}^2 \quad (79)$$

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{0,000292 \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 39,618 \text{ kN} \quad (80)$$

Posouzení:

$$V_{Ed} = 1,57 \text{ kN} \leq V_{Rd} = 39,618 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

10.4 Kaskáda1: trámy – sloup



Obrázek 149 – Spoj trámy – sloup

Pro připojení trámy ke sloupu byl vybrán vrutový spoj, který bude osově zatížen $N_{Ed}=3,39$ kN.

$d = 8$ mm průměr vrutu

$l = 150$ mm délka vrutu

$t_1 = 100$ mm tloušťka fošny

$t_2 = 50$ mm délka vniku hrotu

$t_2 < 6 \cdot d = 48$ mm *VYHOVUJE*

Charakteristická únosnost na osově zatížené vruty:

$$F_{ax,Rk} = n_{ef} \cdot (\pi \cdot d \cdot l_{ef})^{0,8} \cdot f_{ax,k}$$

Účinný počet vrutů:

$$n_{ef} = n^{0,9} = 1$$

Délka vniku hrotu závitové části zmenšená o jeden průměr vrutu:

$$l_{ef} = 150 - 8 = 142 \text{ mm}$$

Charakteristická pevnost na vytažení:

$$f_{ax,k} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_k^{1,5} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 350^{1,5} = 23,752 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rk} = 1,866 \cdot (\pi \cdot 8 \cdot 142)^{0,8} \cdot 23,752 = 16,384 \text{ kN}$$

$$F_{ax,Rd} = \frac{F_{ax,Rk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{16,384 \cdot 10^3 \cdot 0,7}{1,3} = 8,822 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$N_{Ed} = 3,39 \text{ kN} \leq F_{ax,Rd} = 8,822 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

11 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhout část zábavního parku, která je tvořena dřevěnými herními sestavami. Návrh byl proveden dle platných bezpečnostních a normativních požadavků a výpočet proveden v programu Scia Engineer. Hřiště je určeno pro děti do 14 let, ale ve výjimečných situacích je dovolen i vstup dospělého. Všechny prvky byly navrženy a posouzeny na mezní stav únosnosti a navrženy tak, aby nedošlo k žádným zraněním při hře. Na povrch tlumící pád byl použit litý polyuretan neboli Superelastic EPDM.

Proměnné zatížení bylo počítáno jako krátkodobé. Byl proveden výpočet jednotlivých prvků daných sestav.

Součástí práce byl rovněž návrh vybraných spojů daných sestav, výkresová dokumentace, která je uvedena v příloze A a grafická vizualizace v příloze B.

Poděkování

Ráda bych poděkovala mé vedoucí bakalářské práce Ing. Kristýně Vavrušové, Ph.D za velkou ochotu, odborné rady a četné konzultace při zpracování bakalářské práce. Poděkování patří také mé rodině a příteli za trpělivost, kterou se mnou měli během tvorby této práce.

Seznam použité literatury

- [1] ČSN EN 1176-1 Zařízení a povrch dětského hřiště – Část 1: Všeobecné bezpečnostní požadavky a zkušební metody
- [2] ČSN EN 1995-1-1 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí- Část 1-1: Obecná pravidla -Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [3] ČSN EN 1176-2 Zařízení a povrch dětského hřiště- Část 2: Další specifické bezpečnostní požadavky a zkušební metody pro houpačky
- [4] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí- Část 1-1: Obecná zatížení- Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [5] ČSN 73 1702 Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí – Obecná pravidla pro pozemní stavby
- [6] SVOBODA, Luboš a kolektiv. *Stavební hmoty*. 3 vydání. Praha, 2013.
- [7] KUKLÍK, Petr. *DŘEVĚNÉ KONSTRUKCE*. Fakulta stavební. ČVUT v Praze, 2005

Seznam použitých odkazů

[8] Provaznictví [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z:

<http://www.provaznictvi.cz/>

[9] Hřebíkové spoje [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z:

http://www.fce.vutbr.cz/KDK/pilgr.m/BO03/Hrebikove_spoje.pdf

[10] Protipádové povrchy – Prolemax [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z:

<http://www.prolemax.cz/protipadove-povrchy/>

[11] Střešní krytina – SuperRocky [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z:

<http://www.integ.cz/vypisprodukt/235-super-rocky.html>

[12] Impregnace dřeva [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z:

<http://www.impregnace-dreva.cz/fotky/fotos/>

[13] Playground history [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Playground>

<https://savingplaces.org/stories/how-we-came-to-play-the-history-of-playgrounds#.Vx4LuTCLTcx>

<http://www.aaastateofplay.com/history-of-playgrounds/>

[14] Zatížení sněhem [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z:

http://fast10.vsb.cz/sera/Zatizeni%20snehem_teorie.pdf

[15] Zatížení větrem [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z:

<http://fast10.vsb.cz/sera/Zatizeni%20vetrem%20-%20teorie%20+%20norma.pdf>

Senam použitých programů

Microsoft Word 2016

Microsoft Excel 2016

SketchUp 2016

Scia Engineer 15

AutoCAD Architecture 2014

Seznam příloh

Příloha A – seznam výkresů

č.1 – sestava Domeček

č.2 – sestava Pyramida

č.3 – sestava Kaskáda

č.4 – altán

č.5 – sestava Lod'

č.6 – spojovací lávka

č.7 – dvoumístná houpačka

Příloha B – vizualizace